

MT 3.11-550



**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES**

MANUAL TÉCNICO

**FUNDAMENTOS PARA O EMPREGO
DAS COMUNICAÇÕES**

**1ª Edição
2026**

MT 3.11-550



**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES**

MANUAL TÉCNICO

**FUNDAMENTOS PARA O EMPREGO
DAS COMUNICAÇÕES**

**1ª Edição
2026**

PORTARIA COTER/C Ex Nº 647, DE 4 DE FEVEREIRO DE 2026

EB: 64322.030259/2025-91

Aprova o Manual Técnico MT 3.11-550 - Fundamentos para o Emprego das Comunicações, 1ª edição, 2026.

O **CHEFE DO PREPARO DA FORÇA TERRESTRE**, no uso da atribuição que lhe confere o inciso VII do art. 6 do Regulamento do Comando de Operações Terrestres (EB10-R-06.001), aprovado pela Portaria do Comandante do Exército nº 914, de 24 de junho de 2019, e de acordo com o que estabelecem os artigos 5º, 12 e 44 das Instruções Gerais para as Publicações Padronizadas do Exército (EB10-IG-01.002), aprovadas pela Portaria do Comandante do Exército nº 770, de 7 de dezembro de 2011, e alteradas pela Portaria do Comandante do Exército nº 1.266, de 11 de dezembro de 2013, resolve:

Art. 1º Fica aprovado o Manual Técnico MT 3.11-550 - Fundamentos para o Emprego das Comunicações, 1ª edição, 2026, que com esta baixa.

Art. 2º Esta portaria entrará em vigor e produzirá efeitos a partir sua publicação.

Gen Bda MARCUS VINICIUS GOMES BONIFACIO

Chefe do Preparo da Força Terrestre

(Publicada no Boletim do Exército nº 07 , de 13 de fevereiro de 2026)

FOLHA REGISTRO DE MODIFICAÇÕES (FRM)

NÚMERO DE ORDEM	ATO DE APROVAÇÃO	PÁGINAS AFETADAS	DATA

ÍNDICE DE ASSUNTOS

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	Pag
1.1 Finalidade	1-1
1.2 Considerações Gerais	1-1
1.3 Definições Básicas	1-6
 CAPÍTULO II - UNIDADES DE MEDIDA	
2.1 Considerações Gerais	2-1
2.2 Hertz	2-1
2.3 Ampere	2-12
2.4 Volt	2-12
2.5 Ohms	2-12
2.6 Watts	2-13
2.7 Decibel	2-14
2.8 Elétron-Volt (EV)	2-14
2.9 Micrômetro	2-15
 CAPÍTULO III - ELETROELETRÔNICA	
3.1 Considerações Gerais	3-1
3.2 Eletricidade	3-1
3.3 Corrente Elétrica	3-2
3.4 Tensão Elétrica	3-4
3.5 Potência Elétrica	3-4
3.6 Resistência Elétrica	3-5
3.7 Circuito Elétrico	3-6
3.8 Cálculos de Grandezas Elétricas: I, R E E	3-7
3.9 Energia Elétrica	3-7
3.10 Baterias	3-12
3.11 Aterramentos Elétricos	3-13
3.12 Sistema de Proteção Contra Descargas	3-17
3.13 Casamento de Impedância	3-19
 CAPÍTULO IV- ENLACES DE COMUNICAÇÕES	
4.1 Considerações Gerais	4-1
4.2 Componentes de um Enlace de Comunicações	4-2

4.3 Abordagem por Camadas	4-4
4.4 Classificação dos Enlaces de Comunicações	4-6
4.5 Formas de Emprego dos Enlaces de Comunicações	4-28

CAPÍTULO V - CANAL DE COMUNICAÇÕES

5.1 Considerações Gerais	5-1
5.2 Canal Rádio	5-1
5.3 Canal Fibra Óptica	5-2
5.4 Canal Fio	5-2
5.5 Propriedades dos Canais de Comunicações	5-3
5.6 Distúrbios dos Canais de Comunicações	5-7
5.7 Distúrbios Específicos do Canal Rádio	5-8

CAPÍTULO VI - MODULAÇÃO DE SINAIS

6.1 Considerações Gerais	6-1
6.2 Modulação	6-2
6.3 Modulação Analógica	6-2
6.4 Modulação Digital	6-4

CAPÍTULO VII - MULTIPLEXAÇÃO DE CANAIS

7.1 Considerações Gerais	7-1
7.2 Multiplexação	7-2
7.3 Multiplexação por Divisão de Frequência (FDM)	7-3
7.4 Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM)	7-5

CAPÍTULO VIII - COMUNICAÇÕES POR ONDAS RÁDIO

8.1 Considerações Gerais	8-1
8.2 Ondas	8-1
8.3 Classificação das Ondas	8-2
8.4 Ondas Eletromagnéticas	8-3
8.5 Componentes das Ondas Eletromagnéticas	8-5
8.6 Características das Ondas Eletromagnéticas	8-6
8.7 Fenômenos das Ondas Eletromagnéticas	8-6
8.8 Espectro das Ondas Eletromagnéticas	8-12
8.9 Ondas Rádio	8-15
8.10 Propagação das Ondas Rádio	8-15

8.11 Espectro das Ondas Rádio	8-17
8.12 Faixa de HF	8-18
8.13 Faixa de VHF	8-20
8.14 Faixa de UHF	8-21
8.15 Faixa de SHF	8-23
8.16 Zona de Fresnel	8-23
8.17 Radiotransmissão Analógica	8-25

CAPÍTULO IX - ANTENAS

9.1 Considerações Gerais	9-1
9.2 Princípio de Funcionamento de Antenas	9-2
9.3 Características das Antenas	9-3
9.4 Parâmetros das Antenas	9-7
9.5 Rendimento ou Eficiência de Radiação	9-14
9.6 Rendimento ou Eficiência do Feixe de uma Antena	9-14
9.7 Ganho	9-15
9.8 Abertura Efetiva da Antena (AE) de uma Antena	9-15
9.9 Relação Frente-Costas	9-15
9.10 Eirp da Transmissão	9-15
9.11 Tipos de Antenas	9-16

CAPÍTULO X - COMUNICAÇÕES POR FIO

10.1 Considerações Gerais	10-1
10.2 Princípio de Funcionamento	10-1
10.3 Tipos de Fios e Cabos	10-2
10.4 Características	10-4
10.5 Propriedades	10-5
10.6 Componentes	10-5
10.7 Vantagens	10-6
10.8 Desvantagens	10-7
10.9 Custo	10-7
10.10 Formas de Emprego	10-8

CAPÍTULO XI - COMUNICAÇÕES POR FIBRA ÓPTICA

11.1 Considerações Gerais	11-1
11.2 Princípio de Funcionamento	11-1

11.3 Tipos de Fibras Ópticas	11-2
11.4 Características	11-3
11.5 Propriedades	11-4
11.6 Componentes	11-4
11.7 Vantagens	11-6
11.8 Desvantagens	11-6
11.9 Custo	11-7
11.10 Formas de Emprego	11-7
 GLOSSÁRIO - PARTE I – ABREVIATURAS E SIGLAS	 G-1
REFERÊNCIAS	R-1

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 FINALIDADE

1.1.1 Atualmente, os equipamentos militares de comunicações estão cada vez mais sofisticados e tecnologicamente avançados, requerendo de seus usuários uma base consolidada de conhecimento para utilizá-los e empregá-los da forma mais eficiente possível.

1.1.2 O presente manual tem por finalidade servir como fonte de consulta primária dos militares do Exército Brasileiro no que tange aos fundamentos técnicos para o emprego das Comunicações que se aplicam aos mais diversos materiais e sistemas, contribuindo para o processo de preparo e emprego de Comunicações tanto nas escolas de formação quanto no corpo de tropa.

1.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.2.1 COMUNICAÇÃO HUMANA

1.2.1.1 A comunicação humana é o processo de troca de informações e ideias por meios verbais ou não verbais entre duas ou mais pessoas. Envolve a codificação de uma mensagem em um formato que pode ser transmitido por meio de um canal escolhido e a decodificação da mensagem na extremidade receptora.



Fig 1-1 – Comunicação no meio militar

1.2.1.2 A comunicação eficaz também envolve a resposta do receptor para o remetente, garantindo o entendimento mútuo.

1.2.1.3 A comunicação humana abrange uma variedade de contextos, incluindo comunicação interpessoal, comunicação em grupo, oratória e comunicação em massa por meio de vários canais de mídia.

1.2.1.4 Ela pode ser influenciada por vários fatores, como diferenças culturais, barreiras linguísticas e aspectos pessoais, que são cruciais para a construção de relacionamentos, o compartilhamento de conhecimentos e o alcance de objetivos comuns.

1.2.2 SÍNTESE HISTÓRICA DA EVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES

1.2.2.1 A comunicação humana vem evoluindo desde o surgimento de nossa espécie, o *Homo sapiens*, há cerca de 300 mil anos. Ela foi inicialmente limitada a métodos não verbais, como gestos, expressões faciais e linguagem corporal. No entanto, à medida que os humanos evoluíram, seus métodos de comunicação também progrediram.

1.2.2.2 A comunicação oral foi a primeira forma de linguagem usada pelos seres humanos. Os primeiros humanos usavam sons e ruídos para se comunicarem uns com os outros, e, gradualmente, evoluíram para um sistema mais sofisticado de vocalização, incluindo variações tonais e rítmicas e o uso da gramática.

1.2.2.3 A invenção da escrita foi um marco importante na comunicação humana. As primeiras formas de escrita eram pictográficas, com símbolos representando objetos e ideias. O desenvolvimento da escrita permitiu a criação de registros permanentes de informações e a difusão de ideias a longas distâncias.

1.2.2.4 A invenção da imprensa no século XV revolucionou a difusão da informação e do conhecimento. Os livros impressos permitiram a produção e a distribuição em massa de ideias, possibilitando o acesso de mais pessoas à informação.

1.2.2.5 O telégrafo, inventado no século XIX, foi o primeiro dispositivo de comunicação eletrônica. Ele permitia que as mensagens fossem enviadas rapidamente por longas distâncias utilizando o código Morse.

1.2.2.6 A invenção do telefone, no final do século XIX, permitiu que as pessoas se comunicassem em tempo real por longas distâncias, transformando esse campo mais uma vez.

1.2.2.7 O século XX viu o advento da comunicação de massa por meio do rádio e da televisão. Essas mídias permitiram a rápida disseminação de informações e ideias para milhões de pessoas simultaneamente.

1.2.2.8 A invenção da internet, no final do século XX, foi um divisor de águas na comunicação humana. Ela revolucionou a forma como as pessoas se comunicam umas com as outras, tornando possível que elas se conectem com outras pessoas de todo o mundo instantaneamente.

1.2.2.9 No geral, a comunicação humana evoluiu de gestos e vocalizações simples para sistemas complexos de escrita, comunicação eletrônica e internet. Esses avanços transformaram a maneira como interagimos uns com os outros e continuam a moldar o curso da história humana.

1.2.3 TELECOMUNICAÇÕES

1.2.3.1 O prefixo "tele" vem do prefixo grego "têle", que significa "longe" ou "distante". Quando o termo "telecomunicações" foi utilizado pela primeira vez, referia-se à transmissão de informações por longas distâncias, normalmente via telégrafo, telefone ou rádio. Telecomunicações referem-se, atualmente, à troca de informações em longas distâncias utilizando meios eletrônicos ou elétricos.

1.2.3.2 Os sistemas de telecomunicações são normalmente projetados para transmitir informações de forma confiável e rápida e podem utilizar várias tecnologias para transmissão de ondas eletromagnéticas como *links* de rádio, cabos telefônicos, fibra óptica, satélites ou cabos de redes de dados, nas mais diferentes localizações geográficas.

1.2.3.3 Incluem várias formas de comunicação, como chamadas de voz, mensagens de texto, *e-mail*, videoconferência, entre outras.

1.2.3.4 O campo das telecomunicações está em constante evolução, com tecnologias e inovações surgindo regularmente para melhorar a velocidade, qualidade e confiabilidade das redes de comunicação.

1.2.4 COMUNICAÇÕES

1.2.4.1 Com o avanço da tecnologia, a necessidade de distinguir entre comunicação local e de longa distância diminuiu. Na era moderna, os sistemas de comunicação, como a internet e as redes celulares, são onipresentes e permitem a comunicação local e de longa distância.

1.2.4.2 O termo "telecomunicações" tornou-se um tanto desatualizado e, muitas vezes, tem sido substituído pelo termo "comunicações".

1.2.4.3 Este termo abrange todas as formas de comunicação, independentemente da distância, do meio ou da tecnologia.

1.2.4.4 Em resumo, o prefixo "tele" foi removido porque não reflete mais com precisão o escopo e a natureza das modernas tecnologias de comunicação.

1.2.5 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

1.2.5.1 Tecnologia da informação (TI) refere-se a qualquer equipamento, sistema interligado ou subsistema de equipamento que permita realizar de forma automática a aquisição, o armazenamento, a manipulação, o gerenciamento, o movimento, o controle, a exibição, a comutação, o intercâmbio, a transmissão ou a recepção de dados ou informações.

1.2.5.2 Em suma, é um conjunto não humano de recursos que são empregados nos processos informacionais, como a coleta, o armazenamento, o processamento e a distribuição. O termo tecnologia da informação inclui computadores, equipamentos auxiliares, redes de dados, *software*, *firmware*, procedimentos, serviços (incluindo serviços de suporte) e recursos relacionados.

1.2.6 TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

1.2.6.1 Tecnologia da informação e comunicação (TIC) refere-se a um conjunto diversificado de ferramentas e recursos usados para comunicar, criar, disseminar, armazenar e gerenciar informações.

1.2.6.2 Essas tecnologias englobam tanto a TI, como *hardware*, *software* e redes de computadores, quanto os meios de comunicações tradicionais e modernos, como rádio, telefonia, satélites, fibra ótica etc.

1.2.6.3 As TIC desempenham um papel fundamental na sociedade moderna, influenciando o desenvolvimento econômico, social e cultural. Elas são usadas em diversos setores, desde a educação e saúde até o comércio e entretenimento, facilitando a comunicação e o acesso à informação.

1.2.7 COMUNICAÇÃO, TELECOMUNICAÇÕES, COMUNICAÇÕES, TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

1.2.7.1 Comunicação refere-se à troca de informações ou mensagens entre indivíduos, grupos ou organizações. A comunicação pode ocorrer por diversos meios, como palavras faladas ou escritas, gestos, expressões faciais ou, até mesmo, por meio da tecnologia.

1.2.7.2 Telecomunicações são um ramo da comunicação que envolve o uso de dispositivos eletrônicos para transmitir informações a longas distâncias. Isso inclui várias tecnologias, como telégrafo, telefone, rádio, televisão e internet.

1.2.7.3 Comunicações são um termo mais amplo que abrange todas as formas de comunicação, incluindo telecomunicações.

1.2.7.4 Referem-se à troca de informações ou mensagens entre indivíduos, grupos ou organizações, utilizando qualquer meio ou tecnologia.

1.2.7.5 TI é um conceito que trata do uso de computadores, softwares, redes e eletrônicos para coletar, processar, armazenar, proteger e transmitir informações. Engloba uma ampla gama de subcampos, como sistemas de informação, redes de computadores e bancos de dados.

1.2.7.6 TIC é um termo expansivo que engloba tanto TI quanto comunicação. Abrange todas as tecnologias que mediam as informações e as comunicações, incluindo *softwares*, *hardwares*, redes de dados, telefonia, radiotransmissão, satélites e outras infraestruturas de comunicações

1.2.8 AS COMUNICAÇÕES NO AMBIENTE MILITAR

1.2.8.1 As comunicações desempenham um papel crítico no ambiente militar, pois facilitam o fluxo de informações e garantem a coordenação e sincronização das operações militares.

1.2.8.2 A comunicação eficaz é essencial para o sucesso da missão, pois permite que os comandantes tomem decisões com base em informações precisas e oportunas.

1.2.8.3 Nas Forças Armadas (FA), os sistemas de comunicações podem variar de simples sinais manuais a sofisticados dispositivos eletrônicos, como rádios, satélites e redes de computadores. Esses sistemas são projetados para permitir a comunicação entre diferentes unidades e escalões de comando.

1.2.8.4 As principais atividades influenciadas pelo emprego das comunicações no ambiente militar:

1.2.8.4.1 Comando e controle (C²)

- A comunicação é essencial para proporcionar aos comandantes dirigirem suas unidades e coordenarem suas atividades.
- Isso inclui emitir ordens, solicitar informações e receber relatórios de unidades subordinadas com oportunidade.
- Requer o emprego de sistemas de informação e de comunicações integrados com a finalidade de prover os meios que contribuam para o processo decisório e que permitam a obtenção e manutenção da superioridade de informação.

1.2.8.4.2 Consciência situacional

- Os sistemas de comunicações permitem que militares compartilhem informações sobre o campo de batalha, incluindo posições amigas e inimigas, movimentos de tropas e outros dados relevantes.
- Assim, os comandantes podem tomar decisões sobre como responder às mudanças nas circunstâncias oportunamente.

1.2.8.4.3 Apoio logístico

- As comunicações são críticas para a execução de todas as funções logísticas (suprimento, transporte, manutenção, engenharia, salvamento, recursos humanos e saúde), contribuindo para a adequada gestão das informações necessárias ao apoio logístico.

1.2.8.4.4 Apoio de fogo

- A comunicação é essencial nas operações para coordenar os fogos como, por exemplo, possibilitando a comunicação entre os observadores de artilharia (OA) destacados nos batalhões e regimentos; e
- No uso dos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (SARP) e dos sistemas de munições remotamente pilotadas (SMRP).

1.2.8.5 Os sistemas de comunicações são fundamentais para a atividade de Inteligência, viabilizando o fluxo de informações necessárias para que os decisores, em todos os níveis, possam compreender como agem as forças presentes, o terreno onde provavelmente irão conduzir as operações e os efeitos que condições meteorológicas e outros fatores exercerão sobre elas.

1.2.8.6 Os meios de comunicações também são utilizados para apoiar sistemas de treinamento e educação como, por exemplo, simulações virtuais e ensino a distância.

1.2.8.7 No geral, as comunicações desempenham um papel crucial para garantir o andamento, a segurança e o sucesso das operações militares.

1.3 DEFINIÇÕES BÁSICAS

1.3.1 DADOS

1.3.1.1 Definição geral

- Dados, de forma geral, são uma coleção de fatos ou valores que transmitem informação.

1.3.1.2 Essa definição pode ser particularizada para sistemas específicos para maior clareza. O *Glossário de Termos e Expressões para Uso no Exército* define “dado” como:

- a) qualquer representação de um fato ou de uma ideia, em forma capaz de ser comunicada ou manipulada por algum processo, na área da tecnologia da informação.
- b) Elemento ou base para a formação de juízo, a ser utilizado na produção do conhecimento, no sistema de inteligência.
- c) Representação de fato ou situação por meio de documento, fotografia, gravação, relato, carta topográfica e outros meios, ainda não submetidos à metodologia para a produção do conhecimento.

1.3.1.3 Os dados geralmente são armazenados em bancos de dados ou arquivos e podem ser processados ou analisados utilizando várias técnicas e ferramentas para obter *insights* (percepções), padrões e tendências.

1.3.1.4 Os *insights* derivados da análise de dados podem ser utilizados para informar a tomada de decisões, melhorar os processos de negócios e impulsionar a inovação.

1.3.1.5 Na atual era digital, os dados são um recurso valioso para indivíduos e organizações.

1.3.1.6 A capacidade de coletar, armazenar e analisar dados transformou a maneira como vivemos e trabalhamos, da propaganda personalizada à pesquisa em saúde e muito mais.

1.3.2 INFORMAÇÃO

1.3.2.1 O glossário de termos e expressões para uso no exército define “informação” como:

- a) Conhecimento resultante de raciocínio elaborado pelo analista de inteligência que expressa sua certeza sobre situação ou fato passado ou presente.
- b) Dados, processados ou não, que podem ser utilizados para produção e transmissão de conhecimento, contidos em qualquer meio, suporte ou formato (Lei de Acesso à Informação).
- c) Representação inteligível de objetos, estados e acontecimentos nos domínios real, virtual e subjetivo.

1.3.2.2 Em outras palavras, informação é um conjunto de fatos ou conhecimentos obtidos de várias fontes e que pode ser usada para entender, descrever ou representar algo.

1.3.2.3 As informações podem ser representadas de várias formas, incluindo texto, imagens, áudio e vídeo, e podem ser armazenadas, transmitidas ou acessadas por meio de diferentes tecnologias, como computadores, redes e bancos de dados.

1.3.2.4 Em última análise, o valor da informação reside em sua capacidade de fornecer insights, conhecimento e compreensão que podem influenciar decisões e ações.



Fig 1-2 – Transformação de uma sequência de dados binários em informação textual e compreensão de que essa informação é o dia do Exército

1.3.3 CONHECIMENTO

1.3.3.1 Conhecimento é um termo amplo que se refere à compreensão, à informação, às habilidades e à competência que os indivíduos adquirem por meio do aprendizado e da experiência.

1.3.3.2 Inclui o acúmulo de fatos, conceitos e princípios que podem ser aplicados para resolver problemas, tomar decisões e atingir objetivos.

1.3.3.3 Também é a representação de um fato ou de uma situação, real ou hipotética, de interesse para a atividade de Inteligência, produzida mediante a aplicação de metodologia própria

1.3.3.4 O conhecimento pode ser adquirido por vários meios, como educação, treinamento, observação, experiência e experimentação. Pode ser categorizado em diferentes tipos, como conhecimento factual, conhecimento procedimental, conhecimento conceitual e conhecimento metacognitivo.

1.3.3.5 O conhecimento desempenha um papel crítico no desenvolvimento humano, no progresso e na inovação, e é considerado um ativo valioso tanto em ambientes pessoais quanto profissionais.

1.3.4 MENSAGEM

1.3.4.1 Uma mensagem é um conjunto de sinais organizados de acordo com um código, transmitido por um emissor a um receptor, por meio de um determinado canal de comunicação.

1.3.4.2 Em outras palavras, é uma forma de comunicação que contém informações ou ideias expressas de vários meios, como linguagem falada ou escrita, símbolos, imagens ou gestos.

1.3.4.3 O propósito de uma mensagem é transmitir informações, sentimentos ou instruções de uma pessoa para outra ou de um grupo para outro.

1.3.4.4 As mensagens podem ser transmitidas por diferentes canais, incluindo conversas verbais, documentos escritos, *e-mail*, mensagens de texto, telefonemas, mídias sociais ou sinais não verbais, como gestos, linguagem corporal, expressões faciais, dentre outros.

1.3.4.5 A comunicação eficaz exige que as mensagens sejam claras, concisas e entregues de maneira apropriada ao público-alvo e ao contexto.

1.3.5 SISTEMA DE COMUNICAÇÕES

1.3.5.1 Termo geral utilizado para designar, sob o aspecto técnico, uma associação de instalações, pessoal e equipamentos de comunicações.

1.3.5.2 Especificamente, os diferentes meios de comunicações agrupam-se de modo a constituírem conjuntos homogêneos, com características comuns, denominados

sistemas. O conjunto dos diferentes sistemas de comunicações empregados num escalão constitui o sistema de comunicações deste escalão.

1.3.6 ENLACE DE COMUNICAÇÕES

1.3.6.1 É o estabelecimento de ligações de comunicações, normalmente feito por meio de radiofrequência, meios físicos, tais como cabos telefônicos ou óticos, ou sinais visuais. É o mesmo que *link*, termo internacionalmente consagrado.

1.3.7 MEIO DE COMUNICAÇÕES

- Também chamado de meio de transmissão, refere-se ao conjunto de equipamentos, dispositivos ou materiais utilizados para transmissão e recepção dos sinais de comunicação de um enlace de comunicações.

1.3.8 CANAL DE COMUNICAÇÕES

1.3.8.1 É uma faixa específica de frequências ou um caminho lógico através do qual os sinais de comunicação são transmitidos em um enlace de comunicações.

1.3.8.2 O termo "canal" é frequentemente utilizado para descrever tanto o condutor físico quanto o caminho lógico empregado para transmitir sinais entre dispositivos em um enlace de comunicações.

1.3.9 EXEMPLO PRÁTICO DO RELACIONAMENTO ENTRE SISTEMA, ENLACE, MEIO E CANAL DE COMUNICAÇÕES

1.3.9.1 Na Fig 1-3, que segue, é demonstrado um exemplo de desdobramento do Sistema de Comunicações de Área (SCA) existente no 1º Batalhão de Comunicações (Santo Ângelo-RS).

1.3.9.2 Esse sistema é um exemplo de sistema de comunicações composto de enlaces (rádio e fio), de meios (equipamentos de transmissão e recepção), de tecnologias (multiplex) e de protocolos diversos (TCP/IP¹, OSPF², HTTP³ e outros).

1.3.9.3 Ainda na Fig 1-3, os pontos a serem ligados (postos de comando de grande comando, grande unidade e unidade) são interconectados por enlaces que empregam meios e canais de comunicações.

1.3.9.4 Como pode ser observado na figura, eles são de dois tipos: rádio e fio. Dessa forma, o enlace por rádio recebe esse nome porque emprega equipamentos de transmissão e recepção (meios) que utilizam o canal rádio (ondas de rádio transmitidas pelo espaço livre) para fechar a ligação (enlace ou *link*) entre si.

¹ TCP/IP - *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet) é um conjunto de protocolos de comunicação entre dispositivos em rede.

² OSPF - *Open Shortest Path First* (Caminho Mais Curto Aberto Primeiro) é um protocolo de roteamento interno para redes de área ampla (WAN) e redes de área local (LAN).

³ HTTP - *Hypertext Transfer Protocol* (Protocolo de Transferência de Hipertexto) é o protocolo usado para transferir dados pela web.

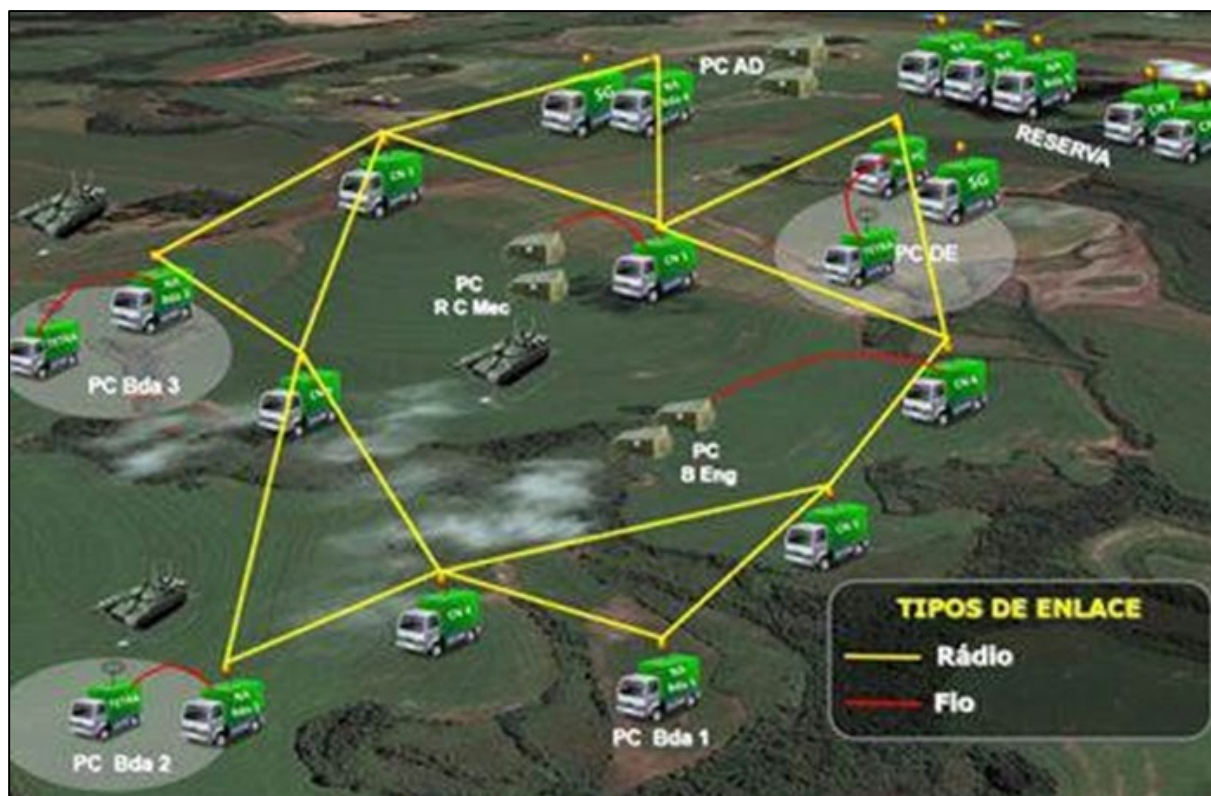


Fig 1-3 – Desdobramento do Sistema de Comunicações de Área

1.3.9.5 O entendimento é o mesmo para o enlace por fio, o qual emprega equipamentos de transmissão e recepção que utilizam o canal fio para realizar a comunicação entre eles.

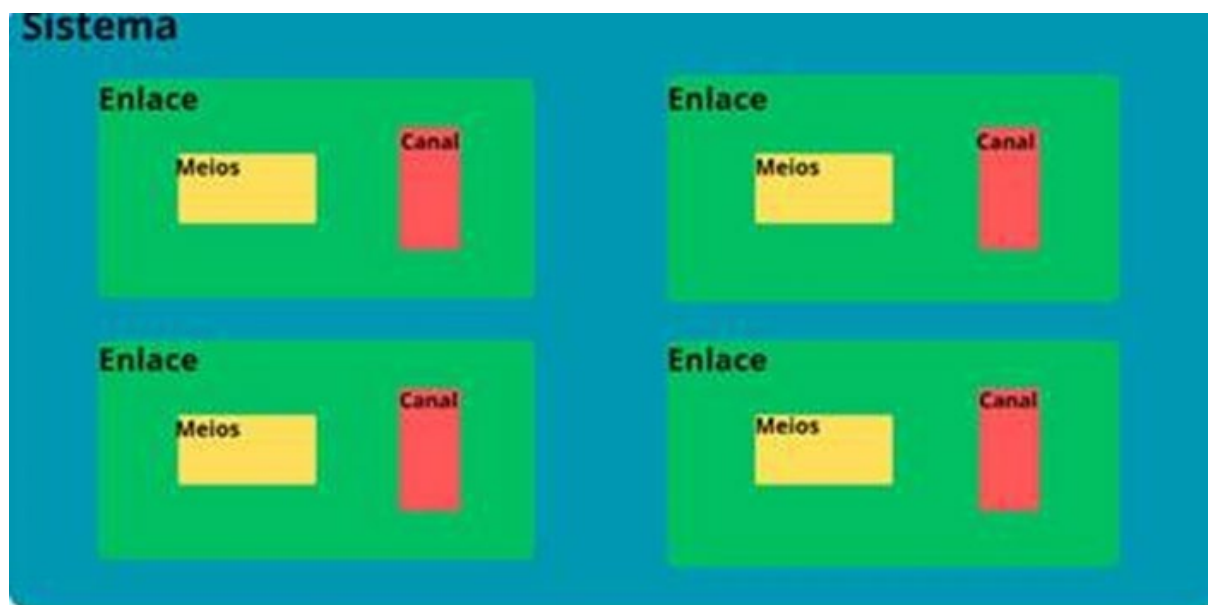


Fig 1-4 – Relacionamento entre Sistema, Enlace, Meios e Canal de Comunicações

CAPÍTULO II

UNIDADES DE MEDIDA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1.1 Primeiramente, é importante entendermos o termo unidades de medida. Para estabelecer padrões internacionais quanto à quantificação de grandezas físicas, foram criados modelos estabelecidos para comparações oportunas e que estabeleçam medidas fidedignas dessas grandezas, como exemplos podemos citar o metro, o litro e o volt.

2.1.2 Na área de telecomunicações, algumas unidades são bastante utilizadas, por isso cresce a importância de entendermos um pouco o conceito de cada uma. Vale destacar que a unidade de medida "decibel" não faz parte do Sistema Internacional de Unidades (SI), porém, é muito empregada e não poderia ficar de fora do rol de unidades de medida presentes neste manual.

2.2 HERTZ

2.2.1 O hertz (Hz) é a unidade de frequência do SI, sendo aplicada a qualquer evento periódico e sua origem é uma homenagem ao alemão Heinrich Rudolf Hertz, físico que contribuiu sobremaneira na área do eletromagnetismo. Exemplos: Dez hertz (10 Hz) significa que a onda oscila dez ciclos por segundo.

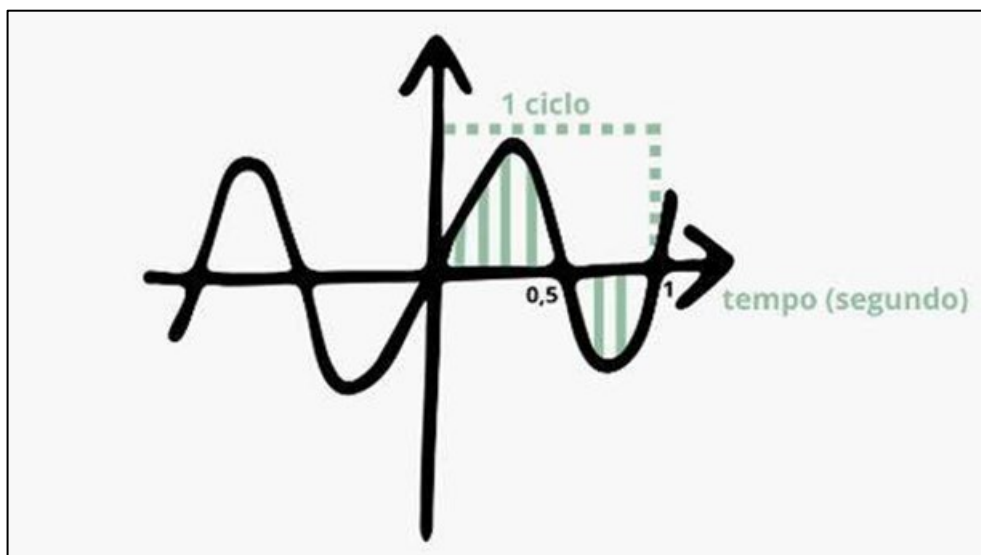


Fig 2-1 – Gráfico representando 1 Hz

2.2.2 Escreve-se Hertz tanto no singular quanto no plural e, como é derivado de um nome próprio, a primeira letra da nomenclatura é maiúscula (Hz), porém, quando escrito por extenso, a primeira letra é minúscula, não valendo essa última regra para início de frase.

2.3 AMPERE

2.3.1 O ampere (A) é a unidade de medida de intensidade de corrente elétrica do SI e mede a quantidade de elétrons que passa por uma seção reta do fio condutor em 1(um) segundo.

2.3.2 É simbolizado pela letra "A". O nome "ampere" é uma homenagem ao físico francês André-Marie Ampère, estudioso que contribuiu muito no campo do eletromagnetismo.

2.3.3 Um ampere equivale a um *coulomb* por segundo, por sua vez, um coulomb equivale a 6,2 milhões de elétrons. Observe a ilustração a seguir, para entender o significado dessa unidade de medida.

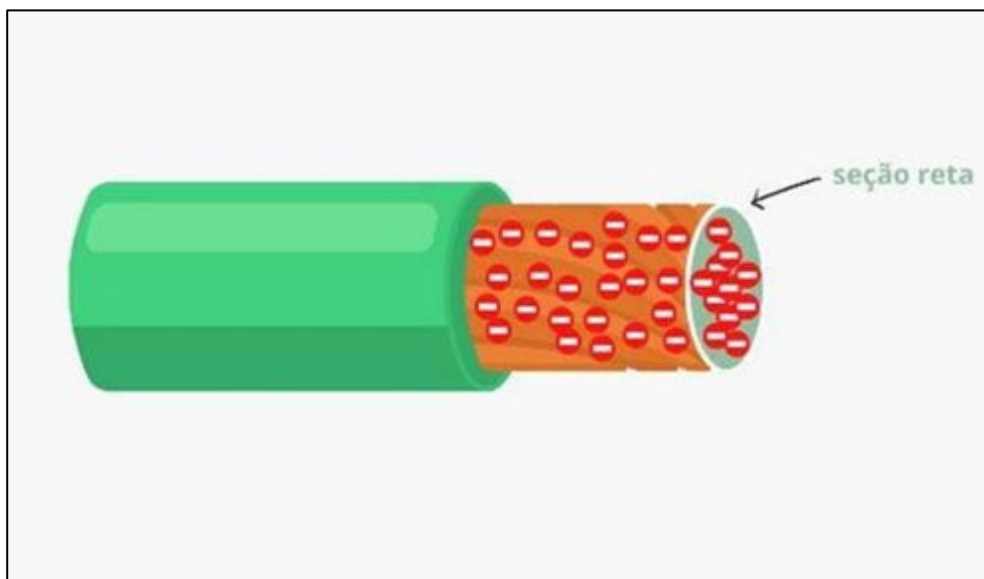


Fig 2-2 – Corrente elétrica

2.4 VOLT

2.4.1 O volt é a unidade de medida do SI que representa a tensão elétrica responsável pela movimentação dos elétrons. Chamada também de diferença de potencial (d.d.p), pelo fato de representar a diferença de potencial elétrico entre dois pontos.

2.4.2 É simbolizado pela letra "V". O nome "volt" é uma homenagem a Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta, pioneiro da eletricidade e criador da pilha voltaica precursora da bateria elétrica. O plural da nomenclatura da unidade é volts.

2.5 OHMS

2.5.1 O ohm é a unidade de medida do SI que representa a resistência elétrica, grandeza que relaciona a tensão elétrica (volt) e a corrente elétrica (A) sobre um elemento (condutor ou isolante). Um condutor que possui uma resistência elétrica de 1 ohm causará uma queda de tensão de 1 volt a cada 1 ampere de corrente que passar

por ele.

2.5.2 É simbolizado pela letra grega " Ω ". O nome "ohm" é uma homenagem a Georg Simon Ohm, que descobriu as relações matemáticas que existem entre tensão elétrica, corrente elétrica e resistência elétrica, essas relações formariam a Lei de ohm.

$$U \text{ (tensão)} = R \text{ (resistência)} \times i \text{ (intensidade de corrente)}$$

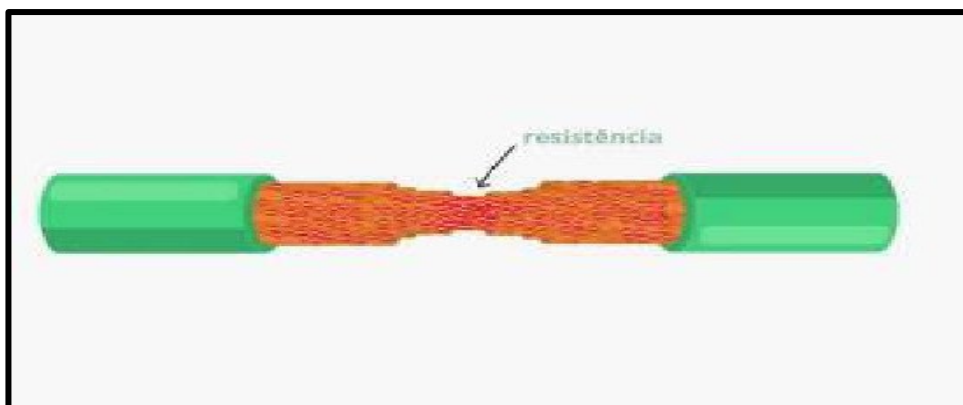


Fig 2-3 – Resistência elétrica

2.5.3 O esquema a seguir representa um circuito que exemplifica bem os conceitos abordados até agora. Observamos uma fonte (bateria) que fornece ao circuito uma (d.d.p) que proporciona um fluxo ordenado de elétrons que sofrem uma certa resistência quando passam pelas lâmpadas (resistências), fator que transforma o fluxo em algum tipo de energia (calor, luz, movimento etc.). No exemplo (Fig 2-4), a energia foi convertida em luz.

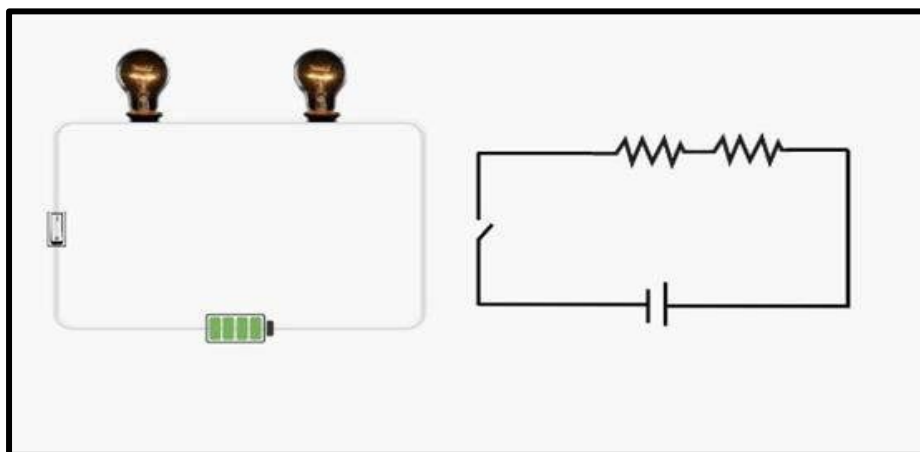


Fig 2-4 – Circuito elétrico

2.6 WATTS

2.6.1 O watt é a unidade de medida de potência do SI. Equivale a 1 joule por segundo. Didaticamente, podemos dizer que é a quantidade de energia elétrica consumida por um aparelho ou circuito a cada segundo, valendo destacar que unidades de potência

também são usadas para se referir a qualquer potência, seja ela mecânica, acústica ou magnética. No eletromagnetismo, por exemplo, 1 watt é a taxa de trabalho resultante quando um ampere (1A) flui através de uma (d.d.p.) de um volt (1V). $1W = 1V \times 1A$.

2.6.2 É simbolizado pela letra grega "W". O nome "watt" é uma homenagem ao inventor da máquina a vapor, James Watt.

2.7 DECIBEL

2.7.1 O bel não faz parte do SI, porém, é uma unidade de medida muito importante no mundo das telecomunicações.

2.7.2 Originalmente, essa unidade era chamada de TU (*transmission unit*) e foi utilizada por Alexander Graham Bell, inventor do telefone. Após a sua morte, os engenheiros do *Bell Telephone Laboratory* resolveram homenagear o seu fundador, dando o nome de bel (símbolo B) a esta unidade de medida.

2.7.3 O bel (B) é calculado por meio da razão matemática entre a potência de um sinal que entra em um sistema e seu valor de saída. Razão = Potência de entrada/Potência de saída ($R = P_e/P_s$).

2.7.4 O padrão estabelecido para a unidade bel é a razão matemática que representa a atenuação de um sinal de áudio em uma milha (1,61 km) de cabo telefônico.

2.7.5 Como a unidade bel é muito grande, dividiu-se a unidade de medida por 10, sendo criada a décima parte do bel, chamada de decibel (símbolo dB).

2.7.6 Interessante observar que tanto o bel quanto o decibel são relações adimensionais, sendo assim, o valor da razão apenas nos informa o valor (dobro, triplo, metade, um terço etc.) da potência do sinal da saída comparada ao valor do sinal de entrada.

2.8 ELÉTRON-VOLT (eV)

2.8.1 O elétron-volt (eV) é uma unidade de medida de energia usada principalmente em física e eletrônica. Ela é definida como a quantidade de energia cinética que um elétron ganha ao ser acelerado por uma (d.d.p.) de um volt.

2.8.2 Mais precisamente, um eV é a quantidade de energia necessária para mover um elétron através de uma (d.d.p.) de um volt. O valor exato do (eV) é de aproximadamente $1,602 \times 10^{-19}$ joules (J), o que significa que um elétron acelerado por um potencial elétrico de um volt ganha $1,602 \times 10^{-19}$ joules de energia cinética.

2.8.3 O eV é frequentemente usado para descrever a energia das partículas subatômicas, como elétrons, prótons e nêutrons, bem como para descrever a energia das partículas de luz, como fótons.

2.8.4 Ele também é usado para medir a energia liberada ou absorvida em processos

de reação química e para descrever a energia de partículas em experimentos de física nuclear e de partículas.

2.8.5 O uso do eV como unidade de medida é particularmente útil porque permite que as energias de partículas subatômicas sejam descritas em valores mais gerenciáveis, em vez de lidar com números extremamente pequenos ou grandes de joules.

2.9 MICRÔMETRO

2.9.1 O micrômetro (símbolo μm) é uma unidade de medida de comprimento no SI e é igual a 1×10^{-6} metros (ou seja, um milionésimo de metro).

2.9.2 Em outras palavras, 1 metro é igual a 1.000.000 micrômetros (ou $10^6 \mu\text{m}$).

2.9.3 Essa relação pode ser usada para conversão entre metros e micrômetros. Para converter uma medida em metros para micrômetros, basta multiplicar a medida em metros por 1.000.000. Para converter uma medida em micrômetros para metros, basta dividir a medida em micrômetros por 1.000.000.

2.9.4 Por exemplo, se tivermos uma medida de 5 metros, podemos convertê-la para micrômetros multiplicando por 1.000.000, resultando em 5.000.000 μm . Da mesma forma, se tivermos uma medida de 300 μm , podemos convertê-la para metros dividindo por 1.000.000, resultando em 0,0003 m.

CAPÍTULO III

ELETROELETRÔNICA

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

3.1.1 A eletroeletrônica é fundamental para as comunicações, pois é a área que abrange o estudo e a aplicação de dispositivos eletrônicos e elétricos em diversos sistemas, como os sistemas de comunicação.

3.1.2 Os dispositivos eletroeletrônicos são utilizados em diversos equipamentos de comunicação, como rádios, televisões, telefones, computadores, sistemas de satélite e muitos outros. Esses dispositivos são responsáveis por processar, amplificar e transmitir sinais elétricos e eletrônicos que são essenciais para as comunicações.

3.1.3 Além disso, a eletroeletrônica também está relacionada com o desenvolvimento de novas tecnologias que são utilizadas nas comunicações, como a tecnologia de fibra óptica, que permite a transmissão de dados em alta velocidade através de cabos ópticos, e a tecnologia de comunicação móvel, que permite a comunicação sem fio em longas distâncias.

3.2 ELETRICIDADE

3.2.1 A eletricidade é uma forma de energia baseada no fluxo de carga elétrica. Ela pode existir em potencial, como uma carga acumulada, ou pode estar em movimento, como uma corrente elétrica.

3.2.2 A eletricidade é uma parte fundamental da natureza e é uma das formas mais amplamente utilizadas de energia. Os efeitos da eletricidade são possíveis devido aos seguintes fatores: corrente elétrica, tensão elétrica, potência elétrica e resistência elétrica.



Fig 3-1 – Eletricidade no dia a dia

3.3 CORRENTE ELÉTRICA

3.3.1 Num condutor, os elétrons movimentam-se de forma aleatória, ou seja, de forma desordenada, estimulados por pequenas quantidades de energia. A movimentação ordenada desses elétrons forma uma corrente de elétrons, denominada de corrente elétrica. Esse “ordenamento” da movimentação dos elétrons ocorre somente quando existe diferença de potencial entre dois pontos. Assim, a corrente elétrica pode ser definida como o movimento ordenado de elétrons livres no interior de um condutor elétrico, sob influência de uma fonte de tensão elétrica (Fig 3-2).

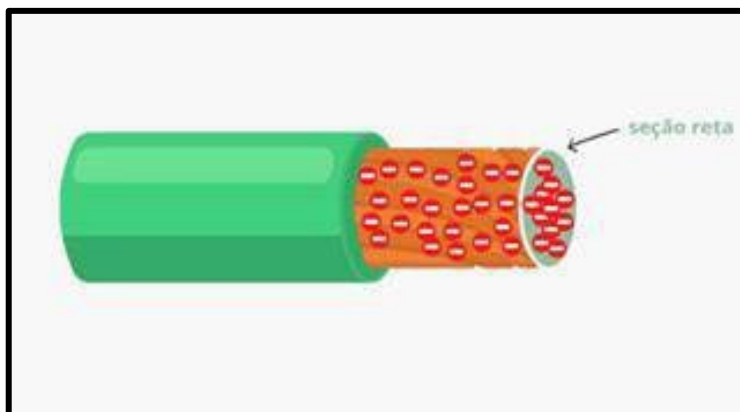


Fig 3-2 – Corrente elétrica

3.3.2 A corrente elétrica pode apresentar-se sob duas formas: corrente contínua (DC) e corrente alternada (AC).

3.3.3 A DC é aquela que mantém sempre a polaridade, fornecendo uma tensão elétrica (ou corrente elétrica) com uma forma de onda constante (sem oscilações), como é o caso da energia fornecida pelas pilhas e baterias. Tem-se um polo positivo e outro negativo.

3.3.4 A AC tem a sua polaridade invertida um certo número de vezes por segundo, isto é, a forma de onda oscila diversas vezes em cada segundo. O número de oscilações (ou variações) que a tensão elétrica (ou corrente elétrica) faz por segundo é denominado de frequência. A sua unidade é em Hertz. No caso da energia elétrica fornecida em território brasileiro, a frequência é de 60 Hz.

3.3.5 A maioria dos equipamentos elétricos funciona em AC, como os motores de indução, os eletrodomésticos, as lâmpadas de iluminação etc.

3.3.6 A DC é menos utilizada. Como exemplo, tem-se: os sistemas de segurança e controle, os equipamentos que funcionam com pilhas ou baterias, os motores de corrente contínua etc.

3.3.7 A corrente elétrica de um circuito pode ser medida utilizando-se um amperímetro. Para efetuar a medição da corrente elétrica, deve-se colocar o amperímetro em série com o circuito e selecionar a faixa de escala adequada para a leitura. Em casos em que o valor da corrente é totalmente desconhecido, deve-se selecionar o maior fundo de escala. Durante o procedimento de leitura, o amperímetro pode ser ajustado para

escalas menores, de forma a permitir uma melhor leitura da corrente elétrica.

3.3.8 Em esquemas elétricos, a corrente elétrica é representada pela letra “I”. A unidade medida da corrente elétrica é o Ampere (A).

3.4 TENSÃO ELÉTRICA

3.4.1 Tensão elétrica é a força exercida nos extremos de um circuito, para movimentar de forma ordenada os elétrons livres. O símbolo que representa a tensão elétrica é letra “U”. A unidade de medida da tensão elétrica é o volt (V) e o instrumento para medir a tensão elétrica é o voltímetro.

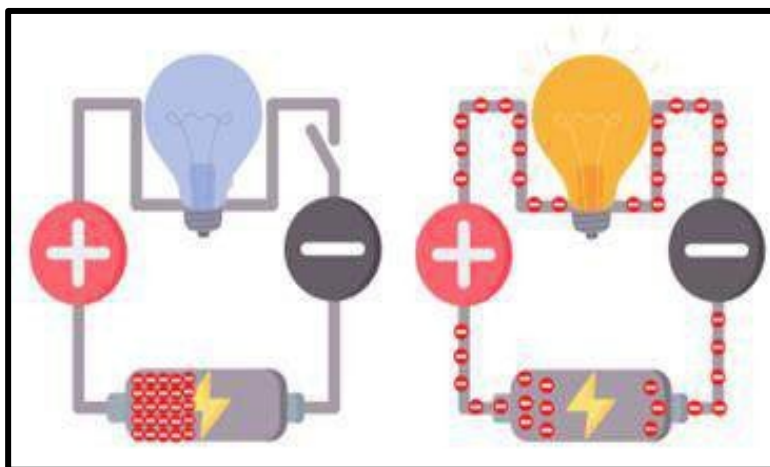


Fig 3-3 – Tensão elétrica contínua

3.4.2 A tensão elétrica pode ser contínua ou alternada. Na tensão contínua, por exemplo uma pilha, existem dois polos: o positivo e o negativo. A tensão alternada, como a tomada elétrica residencial, também possui dois polos: fase e neutro. O neutro é o “zero volt”, o polo usado como referencial. Já a fase é por onde vem a tensão elétrica. A fase é, ao mesmo tempo, o polo negativo e positivo, dependendo do momento. Por isso que, em medição de tensão alternada, não é necessário observar a polaridade. Os terminais de teste do voltímetro podem ser colocados de qualquer modo. Já em circuitos de corrente contínua, ao fazer a medição da corrente, deve-se respeitar a polaridade do circuito.

3.4.3 Podemos fazer uma analogia com um sistema hidráulico para explicar a ideia de tensão (potencial) em um circuito. Observe a Fig 3-4 que segue, perceba duas caixas de água, com alturas diferentes em relação ao solo.

3.4.4 A caixa que se encontra na parte superior está a uma altura de 20 metros do solo. A água tende a descer para a caixa que se encontra no solo, e isso se deve ao potencial maior que a caixa superior tem de empurrar a água para baixo, por conta da pressão, que analogamente chamamos de tensão (d.d.p) em um circuito elétrico. Na imagem podemos relacionar 20 metros com 20 volts em um circuito elétrico.

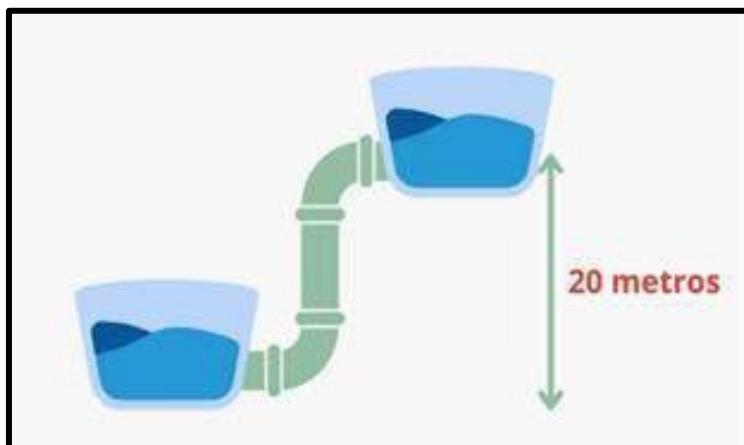


Fig 3-4 – Analogia da caixa de água para explicar a tensão elétrica

3.5 POTÊNCIA ELÉTRICA

3.5.1 Para haver potência elétrica é necessário existir tensão elétrica (V) e corrente elétrica (I). Assim: $\text{potência} = \text{tensão elétrica} \times \text{corrente elétrica}$. Esta expressão é definida como potência aparente. A potência aparente é formada pela potência ativa e a potência reativa.

3.5.2 A potência ativa é aquela que realmente se transforma em potência luminosa (lâmpadas), térmica (chuveiro elétrico), mecânica (motores). A potência reativa é aquela consumida para manter os efeitos do campo magnético (indução) necessário ao funcionamento de reatores, motores, transformadores etc. A unidade de medida de potência é o watt (W).

3.5.3 A medição de potência elétrica (W) é feita pelo aparelho Wattímetro, que associa as funções do Voltímetro e do Amperímetro.

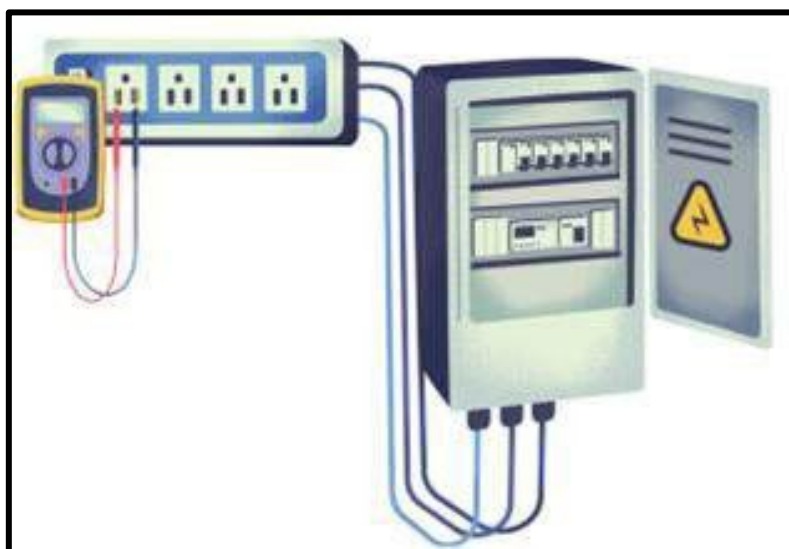


Fig 3-5 – Medição de potência elétrica com wattímetro

3.6 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

3.6.1 Resistência é a denominação dada à propriedade de qualquer substância que tem de se opor à passagem da corrente elétrica. Todos os materiais têm esta propriedade em maior ou menor grau. Alguns materiais, como a borracha, oferecem grande oposição à passagem da corrente, quase não permitindo a sua passagem através deles. São denominados materiais de alta resistência. Outros materiais, como a prata, o cobre, o alumínio e o ouro, oferecem pouca oposição à passagem da corrente, portanto, têm uma resistência muito baixa.

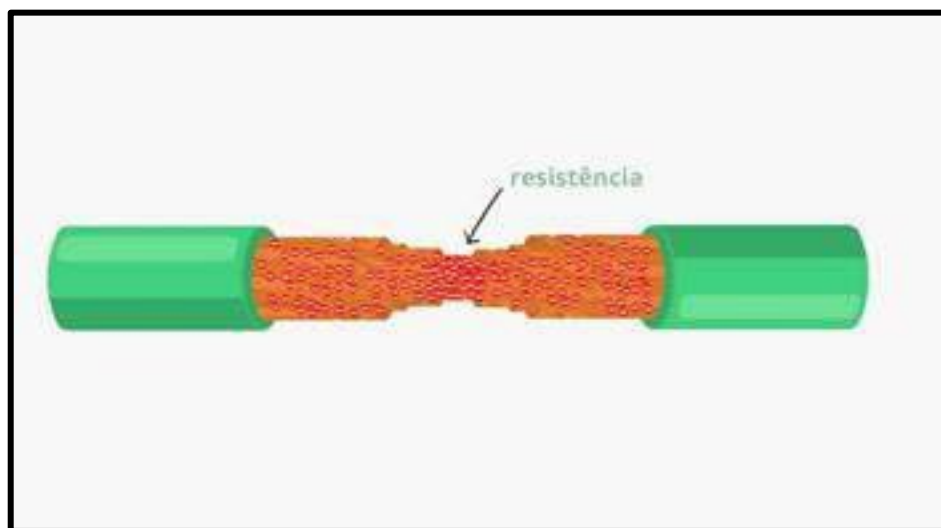


Fig 3-6 – Resistência

3.6.2 A unidade de medida da resistência é o ohm. A unidade recebe esta denominação devido ao físico alemão de nome George Simon Ohm que descobriu a relação entre tensão, corrente e resistência. Um ohm pode ser definido de diversos modos.

3.6.3 A maneira mais comum de definir o ohm é em termos de tensão e corrente. Um ohm é o valor da resistência que permite o fluxo de uma corrente de um Ampere em um circuito que esteja submetido a uma Força Eletromotriz de um volt.

3.6.4 Dizendo de um outro modo, se 1 volt provocar uma corrente de 1 Ampere num circuito, então a resistência deste circuito é 1 ohm. A letra grega ômega (Ω) é usada comumente para representar o ohm. Pode-se então escrever 1 ohm como 1 Ω .

3.6.5 A resistência elétrica é representada pela letra "R". A expressão matemática da 1ª lei de Ohm é: $U = R \times I$, em que R é a resistência elétrica, em ohm; U é a tensão elétrica, em volt; e I é a intensidade de corrente elétrica, em Ampère.

3.6.6 Todos os materiais apresentam resistência à passagem da corrente elétrica, até mesmo os bons condutores. No entanto, neles, a resistência tem baixíssimo valor.

3.6.7 Existem elementos que são colocados propositalmente nos circuitos cuja finalidade é limitar ou controlar a corrente de funcionamento deles. Esses elementos denominam-se resistores, potenciômetros e reostatos. Os resistores possuem valor fixo e podem ser de carbono ou de fio. Os potenciômetros e reostatos possuem valores

ajustáveis. Ao ser atravessado pela corrente elétrica, o resistor acarreta ao circuito uma queda de tensão que é medida em V.

3.6.8 A medição da resistência elétrica (Ω) é feita pelo aparelho Ohmímetro que também é utilizado para se verificar a continuidade de um circuito elétrico.

3.7 CIRCUITO ELÉTRICO

3.7.1 Circuitos elétricos podem ser conectados em diferentes configurações, sendo as em série e em paralelo as mais comuns.

3.7.2 Em um circuito em série, os componentes são conectados um após o outro, formando uma cadeia. A corrente elétrica flui pelo circuito e passa por todos os componentes na ordem em que estão conectados. Nessa configuração, a corrente é a mesma em todos os componentes, mas a tensão é dividida entre eles. Ou seja, a tensão total do circuito é dividida entre cada componente individualmente. Se um componente falhar ou for removido, o circuito inteiro será interrompido.

3.7.3 Em um circuito em paralelo, os componentes são conectados lado a lado, formando vários caminhos para a corrente elétrica fluir. Nessa configuração, a tensão é a mesma em todos os componentes, mas a corrente é dividida entre eles. Ou seja, cada componente recebe uma parte da corrente total do circuito. Se um componente falhar ou for removido, os outros componentes continuarão a funcionar normalmente.

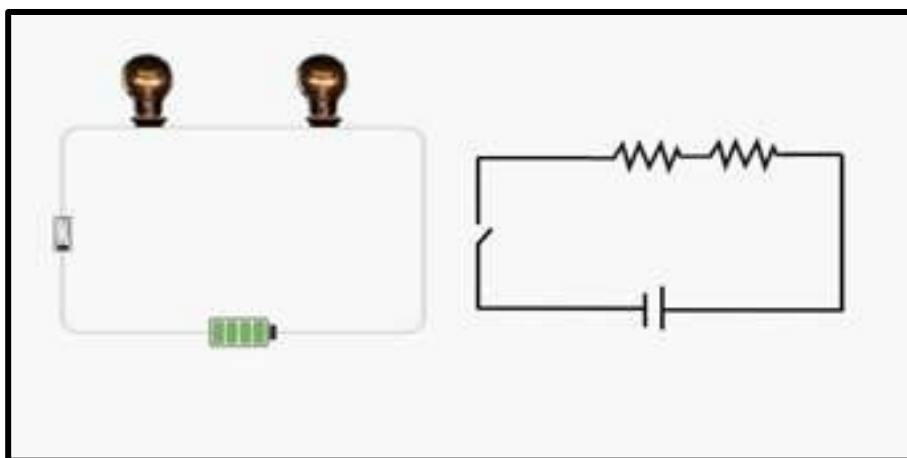


Fig 3-7 – Circuito elétrico

3.7.4 A escolha da configuração de circuito adequada depende do objetivo do circuito e dos componentes envolvidos. Circuitos em série são frequentemente usados em aplicações que exigem que todos os componentes funcionem juntos e nas quais a falha de um componente possa interromper todo o circuito, como em cadeias de luzes de Natal.

3.7.5 Já circuitos em paralelo são frequentemente usados em aplicações que exigem que vários componentes funcionem independentemente uns dos outros, como em aparelhos eletrônicos com várias fontes de energia, como televisores ou computadores.

3.8 CÁLCULOS DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: I, R e E

3.8.1 PARA SABER CALCULAR AS GRANDEZAS ELÉTRICAS, BASTA UTILIZAR AS FÓRMULAS CORRESPONDENTES.

3.8.1.1 Corrente Elétrica: $I = P/U$ ou $I = U/R$.

3.8.1.2 Resistência Elétrica: $R = U/I$.

3.8.1.3 Energia Elétrica: $E = P \times t$ (t será o tempo em horas).

3.8.2 A energia elétrica (E) é a potência elétrica (P) vezes o tempo de utilização (em horas, por exemplo) no qual o fenômeno elétrico acontece (uma lâmpada acesa, por exemplo).

$$E = (U \times I) \times t \text{ ou } E = P \times t$$

Onde:

E: Energia Elétrica;
P: Potência Elétrica;
U: Tensão Elétrica;
I: Corrente Elétrica; e
t: Tempo normalmente nesse caso é adotado em horas (h).

A unidade de Energia Elétrica (**E**) é o **Watt-hora** e o seu símbolo é **Wh**.

Fig 3-8 – Fórmula energia elétrica

3.9 ENERGIA ELÉTRICA

3.9.1 A energia elétrica normalmente não é utilizada no mesmo local onde é produzida. Como é produzida a grandes distâncias dos centros de consumo, é necessário que seja transportada e, por motivos econômicos, isso é feito em altas tensões.

3.9.2 A energia elétrica passa por três etapas até chegar ao consumidor: geração (produção), transmissão e distribuição.

3.9.3 GERAÇÃO (OU PRODUÇÃO) DE ENERGIA ELÉTRICA

3.9.3.1 Fonte de Produção Hídrica (Hidrelétrica)

3.9.3.1.1 Princípio da Geração: Energia Potencial Gravitacional

3.9.3.1.2 Uma usina hidrelétrica gera eletricidade aproveitando a energia potencial gravitacional da água. Em uma hidrelétrica, a água é armazenada em uma represa, formando um reservatório. Quando liberada, a água flui em alta velocidade, pressionando as pás de uma turbina. A energia cinética da água em movimento é

convertida em energia mecânica pela turbina, que, por sua vez, está conectada a um gerador elétrico. Esse gerador converte a energia mecânica em energia elétrica por meio da indução eletromagnética.

3.9.3.2 Fonte de Produção Térmica (Termelétrica)

3.9.3.2.1 Princípio da Geração: Energia Térmica

3.9.3.2.2 Uma usina termelétrica converte energia térmica em eletricidade. Combustíveis fósseis (como carvão, óleo ou gás natural) ou biomassa são queimados, produzindo calor que transforma água em vapor. Esse vapor pressurizado gira uma turbina ligada a um gerador, e o movimento da turbina converte a energia térmica em energia mecânica, que é então convertida em energia elétrica pelo gerador.

3.9.3.3 Fonte de Produção Nuclear (Usina Nuclear)

3.9.3.3.1 Princípio da Geração: Reações Nucleares

3.9.3.3.2 Semelhante à termelétrica, mas o calor é gerado por reações nucleares, geralmente fissão nuclear. Em uma usina nuclear, núcleos pesados como o urânio-235 ou plutônio-239 são divididos, liberando uma grande quantidade de calor. Esse calor é usado para transformar água em vapor, que então gira uma turbina, acionando um gerador.

3.9.3.4 Fonte de Produção Eólica (Turbina Eólica)

3.9.3.4.1 Princípio da Geração: Energia Cinética do Vento

3.9.3.4.2 Turbinas eólicas convertem a energia cinética do vento em energia elétrica. À medida que o vento sopra e passa pelas pás da turbina eólica, ele faz as pás girarem. Essa rotação move um eixo central conectado a um gerador, e a energia cinética é convertida em energia mecânica, que é então transformada em energia elétrica pelo gerador.

3.9.3.5 Fonte de Produção Solar (Painel Solar)

3.9.3.5.1 Princípio da Geração: Energia Fotovoltaica ou Energia Térmica Solar

3.9.3.5.2 No método fotovoltaico, células solares, geralmente feitas de silício, absorvem a energia da luz solar e a convertem diretamente em eletricidade. Quando os fótons de luz solar atingem as células solares, eles libertam elétrons do material semicondutor, gerando um fluxo de eletricidade.

3.9.3.5.3 No método térmico, a energia solar é usada para aquecer um fluido, que pode então ser usado para produzir vapor e girar uma turbina, semelhante ao processo em usinas termelétricas e nucleares.

3.9.3.5.4 A tensão comercial gerada e fornecida na saída dos geradores é trifásica de 6,9KV, 13,8kV ou 18,0kV, com valores bem elevados de corrente (kA) e potência (MW).

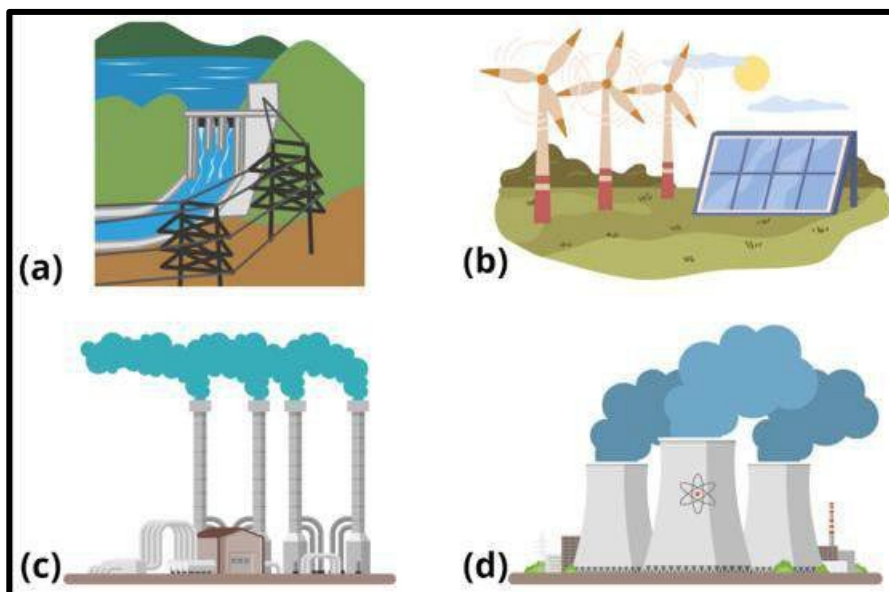


Fig 3-9 – Exemplos de Fontes de Produção de Energia Elétrica: (a) Hídrica, (b) Eólica e Solar, (c) Térmica e (d) Nuclear

3.9.4 TRANSMISSÃO

3.9.4.1 Para a transmissão da energia até os centros de consumo, é necessário elevar a tensão e, conseqüentemente, diminuir a corrente. A elevação de tensão é na subestação elevadora que, geralmente, é localizada próxima dos geradores. As subestações elevadoras possuem transformadores elevadores que recebem dos geradores as tensões de 6,9kV, 13,8kV ou 18,0kV e as elevam para tensões de transmissão em torno de 69kV, 138kV, 230kV.

3.9.4.2 A energia é transportada pelas torres de transmissão até os centros de consumo. Ela chega a uma subestação abaixadora, que recebe valores de tensão 69kV, 138kV, 230kV e, através de transformadores, abaixa-os para valores de tensão de distribuição de 34,5kV e 13,8kV. Essas tensões seguem até a subestação de distribuição.

3.9.5 DISTRIBUIÇÃO

3.9.5.1 Da subestação de distribuição, os condutores saem e seguem para a distribuição urbana em 13,8 kV. Nos postes da concessionária, distribuídos pelos perímetros urbanos, são instalados transformadores, que reduzem a tensão de 13,8kV para a baixa tensão de 127VAC e 220VAC ou algum outro valor padrão.

3.9.6 TIPOS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.9.6.1 As instalações elétricas de baixa tensão são regulamentadas pela Norma Brasileira NBR5410/04 “Instalações Elétricas de Baixa Tensão” da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ou outra que venha a substituí-la.

3.9.6.2 As concessionárias de energia elétrica, por sua vez, classificam os consumidores de acordo com a carga instalada, em conformidade com a legislação

sobre “Condições Gerais de Fornecimento”. A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que estabelece os seguintes limites para o atendimento: tensão secundária de distribuição, tensão primária de distribuição e tensão de transmissão.

3.9.6.2.1 Tensão secundária de distribuição é quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 50 kW.

3.9.6.2.2 Tensão primária de distribuição é quando a carga instalada na unidade for superior a 50 kW e a demanda contratada ou estimada pelo concessionário para o fornecimento for igual ou inferior a 2500 kW.

3.9.6.2.3 Tensão de transmissão é quando a demanda contratada ou estimada pelo concessionário para o fornecimento for superior a 2500KW.

3.9.6.3 As unidades consumidoras ligadas em baixa tensão podem ser atendidas das seguintes maneiras: monofásico, bifásico e trifásico. Dessa forma:

a) no fornecimento monofásico, a energia elétrica é fornecida por meio de duas linhas – uma fase (fio ativo) e um neutro. Esse tipo de fornecimento é comum em residências e pequenos comércios, onde a demanda de energia elétrica é relativamente baixa (até 8.000 watts);

b) no fornecimento bifásico, a energia elétrica é fornecida por meio de três linhas – duas fases (fios ativos) e um neutro. Esse tipo de fornecimento é comum em comércios e indústrias que exigem mais energia elétrica (entre 12.000 e 25.000 Watts) do que o fornecimento monofásico pode oferecer, mas ainda não necessitam do fornecimento trifásico; e

c) no fornecimento trifásico, a energia elétrica é fornecida por meio de quatro linhas – três fases (fios ativos) e um neutro. Esse tipo de fornecimento é comum em indústrias, comércios de grande porte e em áreas que exigem grande quantidade de energia elétrica, como hospitais, aeroportos e shoppings centers (até 75.000 watts).

3.9.7 CONVERSORES DE VOLTAGENS

3.9.7.1 Conversores de voltagens são dispositivos eletrônicos que permitem converter a voltagem de um circuito elétrico de uma forma para outra. Existem vários tipos de conversores de voltagens, cada um com suas próprias características e aplicações.

3.9.7.2 Os conversores mais comuns são os conversores DC-DC, que convertem a voltagem de uma fonte de alimentação de corrente contínua (DC) em uma voltagem diferente. Esses conversores geralmente utilizam um circuito eletrônico chamado de conversor *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost* ou *Cuk*, que modifica a forma de onda da fonte de alimentação DC para gerar a voltagem de saída desejada.

3.9.7.3 Outro tipo comum de conversor é o AC-DC, que converte a voltagem de uma fonte de alimentação de AC em uma voltagem contínua. Esses conversores são amplamente utilizados em fontes de alimentação de dispositivos eletrônicos, tais como computadores, televisores, equipamentos de áudio e outros aparelhos.

3.9.7.4 Existem também conversores AC-AC, que convertem a voltagem de uma fonte de alimentação de corrente alternada em outra voltagem de corrente alternada,

geralmente para mudar a frequência ou amplitude da voltagem.

3.9.7.5 Os conversores de voltagem são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo sistemas de energia renovável, eletrônica automotiva, equipamentos de telecomunicações, sistemas de controle de motores e muitas outras aplicações.

3.9.8 GERADORES ELÉTRICOS

3.9.8.1 Os geradores de eletricidade operam com base no princípio da indução eletromagnética, em que a rotação de uma bobina de fio dentro de um campo magnético produz uma corrente elétrica. A rotação da bobina é geralmente realizada por meio de uma fonte de energia externa, como um motor a diesel ou a gasolina.

3.9.8.2 Existem vários tipos de geradores de eletricidade, incluindo geradores de DC e geradores de AC. Os geradores de corrente alternada são mais comuns em usinas de energia elétrica e em aplicações comerciais e industriais, enquanto os geradores de corrente contínua são usados em dispositivos portáteis e em aplicações especializadas.

3.9.8.3 Os geradores de eletricidade variam em tamanho e capacidade, desde pequenos geradores portáteis para uso em acampamentos e emergências até grandes geradores de energia usados em usinas de energia elétrica.



Fig 3-10 – Exemplos de geradores de energia elétrica

3.9.8.4 Ao selecionar um gerador de eletricidade para uma aplicação específica, é importante considerar fatores como a potência necessária, a eficiência do gerador, o combustível disponível, o tamanho e peso do gerador e outros fatores relevantes. É importante também realizar a sua manutenção adequada para garantir sua operação segura e confiável ao longo do tempo.

3.9.8.4.1 O fator de trabalho, ou fator de potência, dos geradores de eletricidade é uma medida da eficiência em que a energia é convertida em eletricidade. O fator de trabalho é definido como a relação entre a potência ativa (ou real) e a potência aparente de um circuito elétrico.

3.9.8.4.2 O fator de trabalho de um gerador é importante porque afeta a quantidade de energia que é realmente utilizável pelos dispositivos elétricos que estão sendo alimentados pelo gerador. Se o fator de trabalho for baixo, isso significa que uma quantidade significativa de energia está sendo perdida como potência reativa, em vez de ser utilizada como potência ativa.

3.9.8.4.3 Vamos supor que temos um gerador com valor nominal de 1000 kVA e fator de potência de 0,8. Isso significa que o gerador é capaz de fornecer uma potência máxima real de 800 kW (1000 kVA x 0,8) e que o restante é perdido através de outra forma de energia (exemplo: calor).

3.9.8.4.4 Com isso, é de grande importância verificar o fator de trabalho do gerador para calcular se o gerador irá fornecer energia elétrica suficiente para as cargas.

3.10 BATERIAS

3.10.1 As baterias são dispositivos elétricos que armazenam energia química e a convertem em energia elétrica utilizável em corrente contínua. Existem vários tipos de baterias, cada uma com suas próprias características e aplicações específicas.

3.10.2 A SEGUIR ESTÃO ALGUNS EXEMPLOS DOS TIPOS DE BATERIAS MAIS COMUNS.

3.10.2.1 Baterias de célula A – são pequenas baterias cilíndricas, com cerca de 50 mm de comprimento e 14 mm de diâmetro, que são frequentemente utilizadas em lanternas, brinquedos, câmeras e outros dispositivos eletrônicos de pequeno porte.

3.10.2.2 Baterias de célula AA – são baterias cilíndricas um pouco maiores que as células A, com cerca de 50 mm de comprimento e 14 mm de diâmetro. Elas são usadas em muitos dispositivos eletrônicos, como controles remotos, lanternas, brinquedos e outros equipamentos de consumo.

3.10.2.3 Baterias de célula AAA – são baterias cilíndricas menores que as células AA, com cerca de 44 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro. Elas são usadas em muitos dispositivos eletrônicos portáteis, como controles remotos, brinquedos, lanternas e outros equipamentos de consumo.

3.10.2.4 Baterias de célula D – são baterias cilíndricas grandes, com cerca de 60 mm de comprimento e 34 mm de diâmetro, que são frequentemente utilizadas em lanternas, rádios portáteis, brinquedos e outros dispositivos eletrônicos que requerem alta capacidade de energia.

3.10.3 A TENSÃO DAS BATERIAS

3.10.3.1 A tensão das baterias varia de acordo com o tipo e modelo da bateria. Por exemplo, uma bateria alcalina AA geralmente tem uma tensão nominal de 1,5 volts, enquanto uma bateria de chumbo-ácido de carro tem uma tensão nominal de 12 volts.

3.10.3.2 Além disso, é importante ter em mente que, mesmo que a tensão nominal da

bateria seja a mesma, a tensão real pode variar dependendo da carga e da condição da bateria. Por exemplo, uma bateria de carro pode ter uma tensão nominal de 12 volts, mas a real pode cair para cerca de 10 volts quando a bateria estiver descarregada. Portanto, é importante verificar a tensão da bateria com um multímetro ou outro instrumento de medição antes de usá-la em um circuito.

3.10.3.3 Para se obter outros valores de tensão em baterias, utiliza-se o artifício da ligação em série, como por exemplo as baterias de 24V. Essas baterias são geralmente compostas por duas baterias de 12V conectadas em série, o que significa que a tensão de saída total é a soma da tensão de cada bateria.

3.10.2.3 Para se obter uma bateria mais duradoura (capaz de manter um determinado aparelho elétrico mais tempo ligado), utiliza-se o artifício da ligação em paralelo que faz com que a tensão seja mantida enquanto sua carga é multiplicada.



Fig 3-11 – Exemplos de baterias e de utilização atual

3.11 ATERRAMENTOS ELÉTRICOS

3.11.1 O aterramento elétrico é uma medida de segurança utilizada em instalações elétricas para proteger pessoas e equipamentos de choques elétricos e de outros problemas relacionados à eletricidade. Ele consiste em uma conexão com a terra que permite que correntes elétricas indesejadas sejam desviadas para o solo, em vez de passar pelos equipamentos e pelas pessoas.

3.11.1.1 Teoricamente, o terminal neutro da concessionária deve ter potencial igual a zero volt. Porém, devido ao desbalanceamento nas fases do transformador de distribuição, é comum esse terminal tender a assumir potenciais diferentes de zero. O desbalanceamento de fases ocorre quando temos consumidores com necessidades de potências muito distintas, ligadas em um mesmo *link*. Por exemplo, um transformador alimenta, em um setor, uma residência comum, e, no outro setor, um pequeno supermercado. Essa diferença de demanda, em um mesmo *link*, pode fazer com que o neutro varie seu potencial (flutue). Para evitar que esse potencial “flutue”, liga-se, logo

na entrada, o fio neutro a uma haste de terra. Sendo assim, qualquer potencial que tende a aparecer será escoado para a terra.

3.11.1.2 Não podemos confundir o fio neutro com o fio terra. O neutro é um “condutor” fornecido pela concessionária de energia elétrica, pelo qual há o “retorno” da corrente elétrica. O terra é um condutor construído através de uma haste metálica e que, em situações normais, não deve possuir corrente elétrica circulante. Ou seja, pelo neutro há corrente circulando, e, pelo fio terra, não. Quando houver alguma corrente circulando pelo terra, normalmente ela deverá ser transitória, isto é, desviar uma descarga atmosférica para a terra, por exemplo.

3.11.1.3 O fio terra, por norma, vem identificado pelas letras PE, e deve ser de cor verde e amarela.

3.11.1.4 O aterramento pode ser confeccionado com mais de uma haste, sendo que, neste caso, o comprimento das hastes será igual à distância entre elas.

3.11.1.4.1 A ABNT possui uma norma que rege o campo de instalações elétricas em baixa tensão que padroniza os esquemas de aterramento. Os mais comuns são o aterramento TN (ou "Terra-Neutro"), o aterramento TT (ou "Terra-Terra") e o aterramento IT (ou "Isolado-Terra").

3.11.1.4.2 No aterramento TN, o ponto neutro do sistema elétrico é conectado à terra por meio de um eletrodo de aterramento, que pode ser uma haste de cobre ou outro material condutor enterrado no solo. Esse tipo de aterramento é comum em instalações residenciais e comerciais de baixa tensão. Possui três variantes de esquema (TN), de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, são elas:

- a) esquema TN-S – o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos;
- b) esquema TN-C-S – em parte do esquema, as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor; e
- c) esquema TN-C – as funções de neutro e de proteção são combinadas em um único condutor, na totalidade do esquema.

3.11.1.4.3 No aterramento TT, cada equipamento elétrico é conectado diretamente à terra, através de um eletrodo de aterramento próprio. Esse tipo de aterramento é comum em instalações industriais de alta tensão, onde é necessário um nível elevado de segurança.

3.11.1.4.4 No aterramento IT, o sistema elétrico não é conectado diretamente à terra, mas sim por meio de um transformador isolador ou de um dispositivo de isolamento. Esse tipo de aterramento é comum em instalações elétricas sensíveis, como hospitais e laboratórios.

3.11.1.4.5 É importante ressaltar que a instalação adequada do aterramento elétrico requer conhecimento técnico e deve ser realizada por profissionais habilitados. Uma instalação malfeita pode colocar em risco a segurança das pessoas e danificar equipamentos elétricos. Além disso, é fundamental que o aterramento seja periodicamente verificado e testado para garantir a sua eficácia e segurança.

3.11.2 MEDINDO O TERRA

3.11.2.1 O terrômetro é um instrumento utilizado para medir a resistência elétrica de um sistema de aterramento. Ele é composto por duas hastes de referência que são cravadas no solo, e uma terceira haste que é conectada ao sistema de aterramento que se deseja medir.

3.11.2.2 O terrômetro injeta uma corrente elétrica de baixa frequência no solo, e a queda de tensão resultante é medida pelos resistores formados pelas hastes de referência e pela própria haste de terra.

3.11.2.3 Com base nessa medição, o mostrador do terrômetro é calibrado para indicar o valor da resistência elétrica do sistema de aterramento.

3.11.2.4 Os valores recomendados para a resistência de aterramento são os seguintes:

- a) para sistemas de baixa tensão, como os utilizados em residências e pequenos comércios, o valor máximo da resistência de aterramento é de 10 ohms;
- b) para sistemas de média tensão, como os utilizados em indústrias e edifícios comerciais, o valor máximo da resistência de aterramento é de 5 ohms; e
- c) para sistemas de alta tensão, como os utilizados em usinas e subestações, o valor máximo da resistência de aterramento é de 1 ohm.

3.11.3 MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE ATERRAMENTO

3.11.3.1 A manutenção no sistema de aterramento é fundamental para garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos elétricos. Um sistema de aterramento mal dimensionado ou mal mantido pode oferecer riscos de choques elétricos e danos aos equipamentos.

3.11.3.2 A manutenção no sistema de aterramento deve incluir inspeções regulares nas hastes de aterramento, nos cabos, nas conexões e nos outros componentes do sistema. É importante verificar se há sinais de corrosão, desgaste ou danos físicos, que podem comprometer a eficiência do sistema.

3.11.3.3 Além disso, é fundamental realizar medições periódicas da resistência elétrica do sistema de aterramento, para garantir que esteja dentro dos limites de segurança e adequado para a proteção de pessoas e equipamentos contra choques elétricos e danos causados por descargas atmosféricas.

3.11.3.4 As medições da resistência elétrica do sistema de aterramento devem ser feitas por profissionais capacitados e experientes, que irão utilizar equipamentos adequados e seguir as normas técnicas e recomendações dos fabricantes.

3.11.3.5 Em caso de medições fora dos limites de segurança, é importante que sejam realizadas as correções necessárias para garantir a eficiência do sistema.

3.11.3.6 Caso seja necessário, o solo deverá ser tratado para garantir o bom funcionamento do sistema. O tratamento do solo é importante para melhorar a sua

condutividade elétrica, o que pode resultar em maior eficiência do sistema de aterramento.

3.11.3.7 Existem algumas técnicas que podem ser utilizadas para tratá-lo, como:

- a) adição de sais condutivos – a adição de sais condutivos ao solo pode aumentar a condutividade elétrica do solo, melhorando a eficiência do sistema de aterramento. Os sais mais utilizados para esse fim são os sais de cobre, que podem ser adicionados ao solo em forma de sulfato de cobre ou cloreto de cobre;
- b) aplicação de gel de aterramento – o gel de aterramento é uma substância condutiva que é aplicada no solo ao redor das hastes de aterramento, com o objetivo de melhorar a conexão elétrica entre as hastes e o solo. Ele é composto por uma mistura de sais condutivos e água, que forma um gel condutor que melhora a condutividade elétrica do solo; e
- c) molhamento do solo – a umidade do solo é um fator importante para a sua condutividade elétrica. Portanto, a irrigação do solo pode ajudar a melhorar a eficiência do sistema de aterramento.

3.11.3.5 É importante ressaltar que o tratamento do solo do aterramento deve ser feito de acordo com as normas técnicas e recomendações dos fabricantes, para evitar problemas como a contaminação do solo e o aumento da resistência elétrica do sistema de aterramento. Além disso, a aplicação de qualquer técnica de tratamento do solo deve ser feita por profissionais capacitados e experientes, que irão garantir a correta aplicação da técnica e a segurança do sistema elétrico.

3.11.4 ATERRAMENTO SIMPLES PARA EQUIPAMENTO RÁDIO

3.11.4.1 Para equipamentos rádios, é recomendado o Esquema TT. Isso quer dizer que os equipamentos são aterrados com uma haste própria que é diferente da haste usada para o neutro.

3.11.4.2 Este tipo de aterramento (Esquema TT) é simples, porém, requer conhecimento técnico de quem for criar o sistema.

3.11.4.3 Para equipamentos a bordo de viaturas, o sistema de aterramento deve ser ligado ao fio terra da viatura, que normalmente é a sua própria estrutura metálica e que as montadoras já viabilizam em um suporte de encaixe.

3.11.4.4 Quando não existir esse suporte específico para aterramento, deve-se buscar ou criar um ponto de aterramento, removendo a pintura do local onde será feito o contato com a estrutura metálica, instalando um parafuso de fixação para permitir o contato do cabo de aterramento.

3.11.5 IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE ATERRAMENTO NAS COMUNICAÇÕES

3.11.5.1 O aterramento adequado é fundamental para garantir a integridade dos sinais digitais em um sistema eletrônico. Se o aterramento estiver mal feito, pode ocorrer interferência eletromagnética que afeta a qualidade do sinal, gerando ruídos, distorções ou até mesmo perda total de informação.

3.11.5.2 A interferência pode ocorrer de duas maneiras principais:

- a) Interferência conduzida – ocorre quando um sinal elétrico flui por um condutor de aterramento e interfere em outro sinal que flui pelo mesmo condutor. Isso pode ocorrer quando o aterramento não é adequado, o que pode levar a uma falta de referência elétrica comum; e
- b) Interferência irradiada – ocorre quando os sinais elétricos gerados por um dispositivo eletrônico são emitidos pelo ar e interferem em outros dispositivos próximos. Isso pode ocorrer quando há um mau aterramento, que pode levar a uma alta impedância do sistema e, conseqüentemente, a uma maior probabilidade de interferência eletromagnética.

3.11.5.3 Portanto, um bom sistema de aterramento é essencial para garantir a integridade dos sinais digitais em um sistema eletrônico. Isso inclui uma boa conexão entre as partes metálicas dos dispositivos e o aterramento, a utilização de cabos de aterramento adequados e a verificação regular da resistência do sistema de aterramento.

3.12 SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS

3.12.1 O sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), também conhecido como para-raios, é um dispositivo de proteção instalado em edifícios, estruturas e equipamentos elétricos para evitar danos causados por descargas elétricas atmosféricas (raios).

3.12.2 O para-raios funciona atraindo a descarga elétrica atmosférica para si, em vez de permitir que ela atinja a estrutura que está protegendo. Ele é composto por um conjunto de hastes, cabos e dispositivos de proteção, que é instalado no topo da estrutura e conectado ao solo por meio de um sistema de aterramento.

3.12.3 Existem vários tipos de para-raios disponíveis no mercado, incluindo para-raios com dispositivo de ionização, para-raios com dispositivo de corte de faísca e para-raios com dispositivo de gaiola de Faraday. Cada tipo tem suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha do tipo adequado depende das características da estrutura e dos equipamentos a serem protegidos.

3.12.4 A instalação de um para-raios deve ser feita por profissionais capacitados e experientes, que irão seguir as normas técnicas e recomendações dos fabricantes. Além disso, a manutenção regular do sistema de para-raios é essencial para garantir a eficiência do sistema e evitar falhas que possam colocar a segurança dos usuários em risco.

3.12.5 Existem diferentes tipos de para-raios que podem ser utilizados em torres de antena, dependendo das características da torre, da frequência das ondas de rádio e das normas técnicas aplicáveis. No entanto, um exemplo comum de para-raios utilizado em torres de antena é o para-raios de Franklin.

3.12.5.1 O para-raios de Franklin é composto por uma haste de metal que é colocada no topo da torre de antena, conectada a um cabo de cobre que desce até o solo e se

conecta ao sistema de aterramento. Quando uma descarga atmosférica ocorre, a haste do para-raios atrai a corrente elétrica e a desvia para o cabo de cobre, que a conduz até o solo através do sistema de aterramento.

3.12.5.2 Além do para-raios de Franklin, existem outros tipos de para-raios, como o para-raios de gaiola de Faraday e o para-raios à base de diodos, que podem ser utilizados em torres de antena, dependendo das especificações técnicas do projeto. É importante ressaltar que a instalação de para-raios deve ser realizada por profissionais capacitados e seguir as normas técnicas e regulamentações aplicáveis.

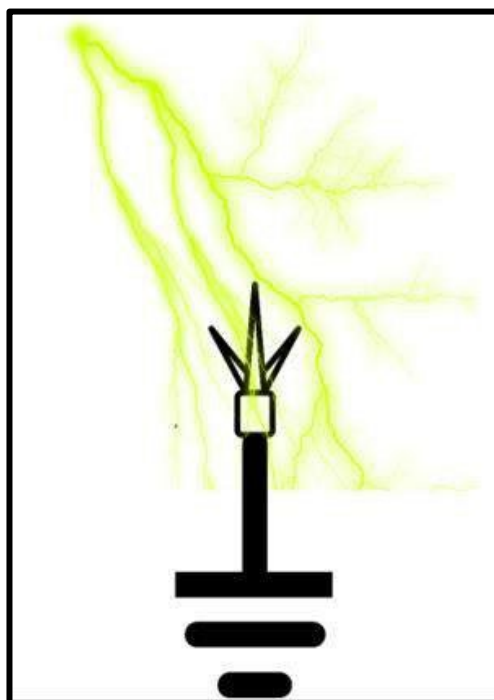


Fig 3-12 – Sistema de proteção contra descargas



Fig 3-13 – Para-raios de Franklin

3.13 CASAMENTO DE IMPEDÂNCIA

3.13.1 Casamento de impedância é um conceito importante em comunicações, particularmente em transmissão de sinais de radiofrequência (RF). Quando um sinal é transmitido de uma fonte para um destino, é importante que a impedância da fonte e a do destino estejam casadas ou combinadas, a fim de maximizar a eficiência da transmissão de energia e minimizar a reflexão do sinal.

3.13.2 A impedância é uma medida da resistência elétrica de um circuito a uma determinada frequência. Em sistemas de RF, a impedância é geralmente expressa em ohms e pode ser representada como uma resistência real e uma reatância imaginária. A impedância de entrada ou de saída de um dispositivo é determinada pelas características de seu projeto e pelos componentes que o compõem.

3.13.3 Para casar as impedâncias entre a fonte e o destino, é comum utilizar transformadores de impedância ou circuitos de adaptação de impedância. Esses dispositivos são projetados para transformar a impedância da fonte em uma impedância compatível com a do destino, maximizando a transferência de energia entre os dois.

3.13.4 O casamento de impedância é particularmente importante em sistemas de antenas, em que a impedância da antena deve ser casada com a impedância do cabo de alimentação e do transmissor para garantir uma transferência de energia eficiente e minimizar a reflexão do sinal. É por isso que as antenas são geralmente projetadas para ter uma impedância específica, como 50 ohms, que é a impedância padrão para a maioria dos sistemas de RF.

3.13.5 Em resumo, o casamento de impedância é um conceito fundamental em sistemas de comunicação, e garantir a combinação adequada de impedâncias é essencial para maximizar a eficiência da transferência de energia e minimizar a reflexão do sinal.

CAPÍTULO IV

ENLACES DE COMUNICAÇÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

4.1.1 Como visto no capítulo I, o enlace ou *link* de comunicações é um termo utilizado para se referir à conexão física ou lógica que permite a transmissão de informações entre dois dispositivos de um meio de comunicações. Esses dispositivos podem ser telefones, computadores, roteadores ou podem ser centrais de comutação ou estações rádio base, dependendo do tipo de comunicação em questão.

4.1.2 O enlace de comunicações pode ser estabelecido utilizando-se diferentes técnicas, incluindo fios de cobre, cabos de fibra óptica, ondas rádio ou satélites. A qualidade e a velocidade desse enlace dependem do meio utilizado, da largura de banda disponível e da distância entre os pontos de conexão.

4.1.3 Os enlaces de comunicações são essenciais para a comunicação moderna, permitindo que as pessoas se comuniquem entre si em diferentes locais, e para a transmissão de dados em larga escala em redes militares, empresariais ou de serviços.

4.2 COMPONENTES DE UM ENLACE DE COMUNICAÇÕES

4.2.1 DEFINIÇÃO INICIAL

- Os componentes de um enlace de comunicações podem variar dependendo do meio de comunicações, mas a maioria dos enlaces incluirá alguns ou todos os seguintes componentes: emissor, transdutor de entrada, transmissor, canal, receptor, transdutor de saída e destinatário.

4.2.2 FONTE

4.2.2.1 A fonte de um enlace de comunicações refere-se ao originador ou criador da mensagem que está sendo comunicada. A fonte pode ser uma pessoa, um grupo de pessoas ou um dispositivo eletrônico, e é responsável por codificar a mensagem em um formato que seja transmitido pelo canal de comunicação.

4.2.2.2 A fonte deve primeiro determinar o conteúdo da mensagem e depois decidir como apresentá-la de forma que seja compreendida pelo destinatário pretendido. Isso pode envolver o uso de linguagem, símbolos, imagens ou outras formas de comunicação para transmitir as informações.

4.2.2.3 A fonte (emissor) também deve considerar o público (destinatário) e adaptar o conteúdo e a apresentação para garantir que a mensagem seja relevante e significativa para o destinatário.

4.2.2.4 Além disso, a fonte também deve considerar o meio pelo qual a mensagem

será transmitida. Ela deve garantir também que a mensagem seja codificada em um formato que possa ser transmitido, com a devida segurança, pelo canal escolhido, seja uma linha telefônica, uma rede sem fio ou a *internet*.

4.2.3 TRANSDUTOR DE ENTRADA

4.2.3.1 É o responsável por converter os sinais físicos ou analógicos do ambiente em sinais elétricos que podem ser processados pelos meios de comunicações. O transdutor de entrada é responsável por captar ou detectar o sinal físico, como som ou luz, e convertê-lo em uma forma que seja utilizada pelo equipamento de transmissão.

4.2.3.2 Em um enlace de comunicações, o transdutor de entrada geralmente é a primeira etapa do processo, sendo responsável por captar o sinal do ambiente e convertê-lo em um sinal elétrico adequado ao processamento pelo meio de comunicações.

4.2.3.3 Por exemplo, em um microfone, o transdutor de entrada capta e converte as ondas sonoras em sinais elétricos em conformidade com as especificações do enlace de comunicações com o qual está integrado.

4.2.3.4 Outros exemplos de transdutores de entrada incluem câmeras, sensores e teclados. Esses componentes também convertem sinais físicos, como luz ou toque, em sinais elétricos.

4.2.3.5 A escolha do transdutor de entrada dependerá dos requisitos do enlace de comunicações e da natureza do sinal físico que está sendo detectado. Por exemplo, um meio de comunicações empregado para poder exigir uma câmera como transdutor de entrada.

4.2.4 TRANSMISSOR

4.2.4.1 É o responsável por converter os sinais elétricos gerados pelo meio de comunicações em uma forma que seja transmitida pelo canal de transmissão, como cabo, onda de rádio ou fibra óptica. O transmissor codifica, modula e amplifica os sinais gerados, transmitindo-os pelo canal até o receptor.

4.2.4.2 O transmissor primeiro codifica a mensagem em um formato digital ou analógico e depois a modula em uma onda portadora para criar um sinal que pode ser transmitido pelo canal de comunicações.

4.2.4.3 O transmissor então amplifica o sinal para aumentar sua força, para que seja transmitido por longas distâncias sem perder sua integridade. Em alguns casos, o transmissor também pode incluir um filtro para remover sinais indesejados ou ruídos que possam interferir na transmissão da mensagem.

4.2.4.4 A escolha do transmissor dependerá do tipo e dos requisitos do enlace de comunicações. Por exemplo, um enlace que usa ondas de rádio para transmissão exigirá um transmissor que possa gerar e amplificar sinais de rádio, enquanto um enlace de comunicações que usa fibra óptica exigirá um transmissor que possa converter sinais elétricos em sinais luminosos.

4.2.5 CANAL

4.2.5.1 Em um enlace de comunicações, o canal refere-se ao condutor físico ou ao caminho lógico por onde a mensagem é transmitida da fonte ao receptor. O canal pode assumir várias formas, incluindo fios, cabos, fibras ópticas e ar.

4.2.5.2 A escolha do canal depende de vários fatores, incluindo a distância entre a fonte e o receptor, a quantidade de dados a serem transmitidos e o tipo de sinal a ser transmitido. Por exemplo, o meio telefônico normalmente usa um fio de cobre para transmitir sinais de voz, enquanto uma transmissão de televisão a cabo pode usar um cabo coaxial para enviar sinais de vídeo. Por outro lado, um enlace sem fio, como na telefonia celular, usa o ar para transmitir sinais de voz e dados.

4.2.5.3 O canal de um enlace de comunicações é suscetível a diversos tipos de interferências, que podem afetar a qualidade do sinal transmitido. A interferência pode vir de várias fontes, incluindo ruído, outros sinais e obstáculos físicos. A escolha do canal e as técnicas utilizadas para codificar o sinal podem ajudar a reduzir o impacto da interferência no sinal transmitido.

4.2.6 RECEPTOR

4.2.6.1 É o dispositivo ou componente que recebe o sinal que foi enviado pelo transmissor por meio do canal de comunicações. O receptor é responsável por demodular o sinal recebido, decodificá-lo e entregar a mensagem ao destinatário.

4.2.6.2 O receptor normalmente consiste em vários componentes, incluindo uma antena, um amplificador, um sintonizador, um demodulador e um decodificador. A antena é responsável por converter o sinal transmitido em um sinal elétrico que pode ser processado pelo receptor. O sintonizador é responsável por selecionar o sinal desejado entre os sinais presentes no meio de transmissão.

4.2.6.3 O demodulador é responsável por extrair o sinal original a partir do sinal da portadora que foi utilizada para transmiti-lo. Por exemplo, no caso de um sinal de rádio FM, o demodulador separa-o do áudio da frequência portadora que foi usada para transmiti-lo.

4.2.6.4 O decodificador é responsável por converter a mensagem codificada em um formato que seja entendido pelo destinatário. Isso pode envolver a conversão de um sinal digital de volta para um formato analógico, como no caso de um sinal de voz ou de vídeo, ou a conversão de um sinal binário em texto ou em outras formas de dados.

4.2.6.5 Depois que a mensagem é decodificada, o receptor a entrega ao destinatário usando um transdutor de saída, como por exemplo um alto-falante ou uma tela de exibição.

4.2.7 TRANSDUTOR DE SAÍDA

4.2.7.1 É um dispositivo que converte um sinal ou uma informação gerada por um sistema em uma forma que pode ser facilmente compreendida ou utilizada por outro dispositivo ou usuário externo. Ele converte o sinal ou a informação de saída gerada

por um sistema em um formato mais conveniente ou utilizável para outro dispositivo. Por exemplo, em um telefone celular, o transdutor de saída é o alto-falante, que converte sinais elétricos em som audível.

4.2.7.2 Os transdutores de saída podem converter diferentes tipos de sinais, incluindo sinais elétricos, mecânicos, ópticos, entre outros. Alguns exemplos comuns de transdutores de saída incluem alto-falantes, *displays* de LED, indicadores de luz, motores elétricos, monitores de computador, entre outros.

4.2.7.3 Os transdutores de saída são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo sistemas de controle e monitoramento industrial, sistemas de comunicações, sistemas de áudio e entretenimento, dispositivos de medição etc.

4.2.8 DESTINATÁRIO

4.2.8.1 É a pessoa ou entidade que recebe a mensagem ou informação transmitida por meio de um canal de comunicações. Esse receptor pode ser um indivíduo, um grupo de pessoas ou um sistema automatizado capaz de processar e armazenar informações. O destinatário é o ponto final da comunicação e é responsável por decodificar e interpretar a mensagem recebida. A eficácia do sistema de comunicações depende, em grande parte, da capacidade do destinatário em receber, processar e entender a informação transmitida.

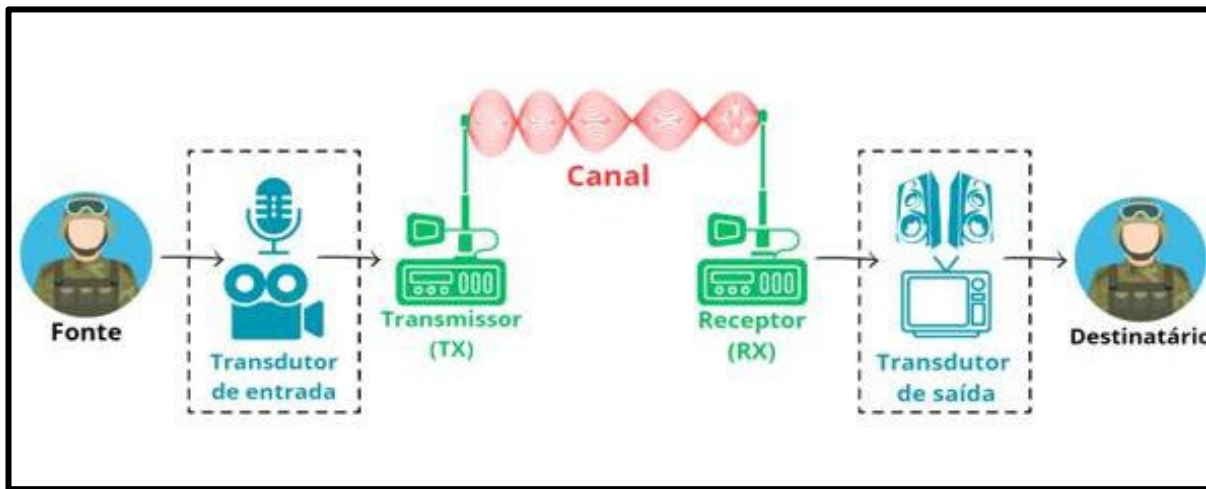


Fig 4-1 – Componentes de um enlace de comunicações Fonte: Haykin e Moher, 2011.

4.3 ABORDAGEM POR CAMADAS

4.3.1 A abordagem por camadas é uma metodologia utilizada para dividir a complexidade da comunicação em blocos funcionais mais simples e gerenciáveis. Essa abordagem é amplamente utilizada em protocolos de rede e é referida como a arquitetura de rede em camadas.

4.3.2 Ela é baseada no modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), que é um modelo de referência criado pela ISO (*International Organization for Standardization*) para padronizar a comunicação via rede de dados. O OSI é composto por sete camadas,

cada uma com funções específicas, que trabalham em conjunto para garantir a transmissão eficiente e confiável de dados entre dispositivos de rede.

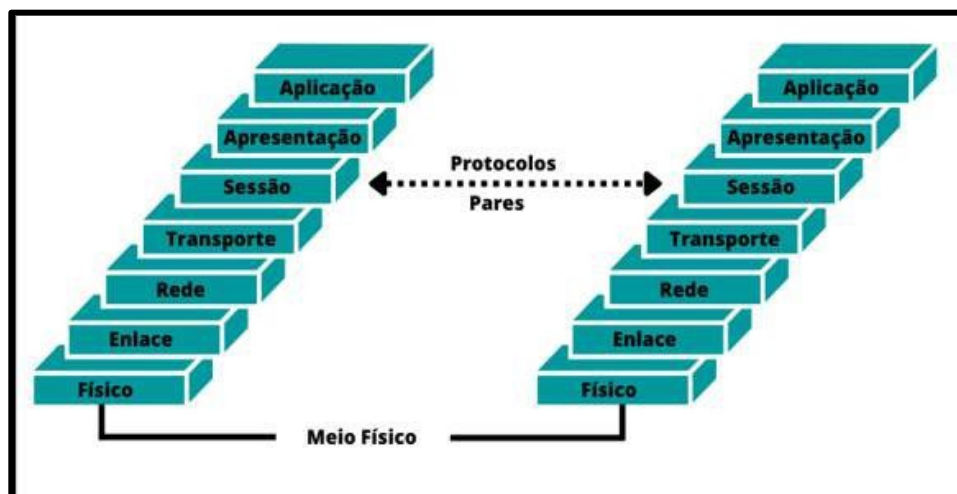


Fig 4-2 – Abordagem por camadas do modelo OSI Fonte: Haykin e Moher, 2011.

4.3.3 As camadas do modelo OSI são: camada física, camada de enlace de dados, camada de rede, camada de transporte, camada de sessão, camada de apresentação e camada de aplicação.

4.3.4 Em geral, os enlaces de comunicações digitais são compostos de camadas que operam juntas para permitir a transmissão de dados entre dois pontos. Cada camada é responsável por uma função específica e se comunica com as camadas adjacentes por meio de interfaces definidas.

4.3.5 AS CAMADAS MAIS COMUNS EM UM ENLACE DE COMUNICAÇÕES DIGITAIS INCLUEM:

4.3.5.1 Camada física – responsável pela transmissão de *bits* brutos por meio do canal de transmissão. Ela lida com a modulação e a demodulação dos sinais, bem como com as características elétricas e mecânicas do canal de transmissão.

4.3.5.2 Camada de enlace de dados – responsável pelo controle de erro e pelo gerenciamento do fluxo de dados entre dispositivos adjacentes. Ela lida com a detecção e a correção de erros na transmissão de dados e com a divisão dos dados em quadros que podem ser transmitidos pela camada física.

4.3.5.3 Camada de rede – responsável pelo roteamento de pacotes de dados entre dispositivos em diferentes redes. Ela lida com a entrega dos pacotes de dados aos dispositivos corretos, mesmo quando esses dispositivos estão em redes diferentes.

4.3.5.4 Camada de transporte – responsável pela entrega confiável dos dados entre os dispositivos finais. Ela lida com a segmentação e a reconstituição de dados, o controle de congestionamento e o gerenciamento do fluxo de dados.

4.3.5.5 Camada de sessão – responsável pela abertura e pelo fechamento da comunicação entre os dois dispositivos. O tempo decorrido entre o momento em que a

comunicação é aberta e em que é fechada é conhecido como "sessão". A camada de sessão garante que esta permaneça aberta pelo tempo necessário para transferir todos os dados que estão sendo trocados e, em seguida, fecha-a imediatamente para evitar o desperdício de recursos. A camada de sessão sincroniza a transferência de dados com pontos de verificação.

4.3.5.6 Camada de apresentação – responsável pela preparação dos dados para que possam ser usados pela camada de aplicação, em outras palavras, a camada torna os dados apresentáveis para que os aplicativos os consumam. A camada de apresentação é responsável pela tradução, criptografia e compactação dos dados.

4.3.5.7 Camada de aplicação – responsável pela interação do usuário com a rede. Ela lida com protocolos de aplicação, como o HTTP⁴ e o SMTP⁵, que permitem a transferência de dados entre aplicativos em diferentes dispositivos.

4.3.6 Uma das principais vantagens da abordagem por camadas é a modularidade. Cada camada pode ser projetada, implementada e testada de forma independente, o que simplifica o processo de desenvolvimento e de manutenção do enlace como um todo. Além disso, a modularidade permite que diferentes camadas possam ser substituídas ou atualizadas sem afetar as outras camadas do sistema.

4.3.7 Outra vantagem da abordagem por camadas é a flexibilidade. A hierarquia delas permite que diferentes tecnologias possam ser usadas em camadas diferentes, dependendo das necessidades específicas do enlace. Por exemplo, a camada física pode usar tecnologias diferentes conforme o canal de transmissão, como fibra óptica, cabo coaxial ou rádio.

4.3.8 No entanto, a abordagem por camadas pode aumentar a latência da rede, pois cada camada adiciona um atraso na transmissão de dados. Além disso, a complexidade da comunicação pode aumentar se o número de camadas for muito grande. Portanto, é importante encontrar um equilíbrio entre a complexidade e a eficiência da rede ao implementar a abordagem por camadas.

4.4 CLASSIFICAÇÃO DOS ENLACES DE COMUNICAÇÕES

4.4.1 QUANTO AO CANAL DE TRANSMISSÃO

4.4.1.1 A classificação pelo canal de transmissão dos enlaces de comunicações se baseia no material ou na forma utilizada para conduzir os sinais ou a informação entre os dispositivos de comunicação.

4.4.1.2 Os enlaces podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com o canal de transmissão.

⁴ HTTP - *Hypertext Transfer Protocol* (Protocolo de Transferência de Hipertexto) é o protocolo usado para transferir dados pela web.

⁵ SMTP - *Simple Mail Transfer Protocol* (Protocolo Simples de Transferência de Correio) é um protocolo de internet padrão para a transmissão de e-mails entre servidores.

4.4.1.3 Por Cabo ou Fio (Confinado)

4.4.1.3.1 Utilizam-se cabos ou fios físicos para conduzir os sinais de um dispositivo a outro, ou seja, confinam o sinal enviado dentro de sua estrutura física.

4.4.1.3.2 Existem vários tipos de cabos utilizados para esse fim, cada um com suas características específicas:

a) cabos metálicos – são os cabos mais comuns, normalmente feitos de cobre e utilizados para transmitir sinais de voz e dados. Podem ser encontrados em diversos formatos, como cabo telefônico, cabo coaxial, cabo UTP (*Unshielded Twisted Pair*/Par Trançado Não Blindado) e cabo STP (*Shielded Twisted Pair*/Par Trançado Blindado);



Fig 4-3 – Cabos metálicos (tipicamente de cobre)

b) cabos de fibra óptica – são cabos que utilizam feixes de luz para transmitir os sinais. A fibra óptica é muito rápida e eficiente na transmissão de grandes quantidades de dados a longas distâncias;

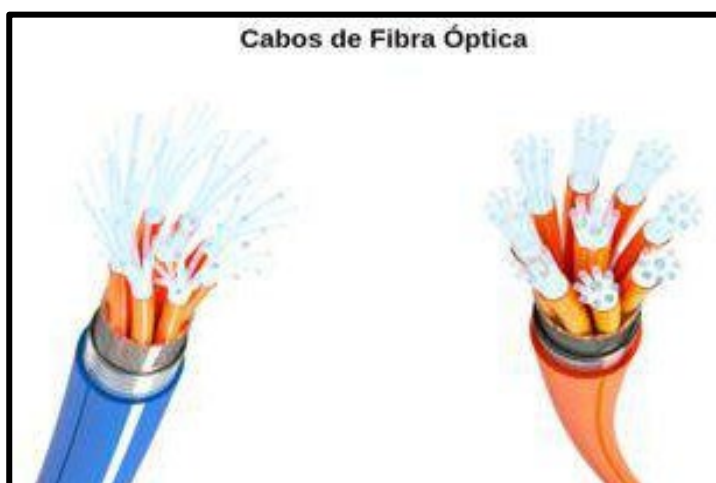


Fig 4-4 – Cabos de fibra óptica

c) cabos híbridos – são cabos que combinam o uso de cobre e fibra óptica em um único cabo. Geralmente, são utilizados em situações em que é necessário transmitir sinais ópticos e energia elétrica, como em redes de transmissão de alta tensão; e

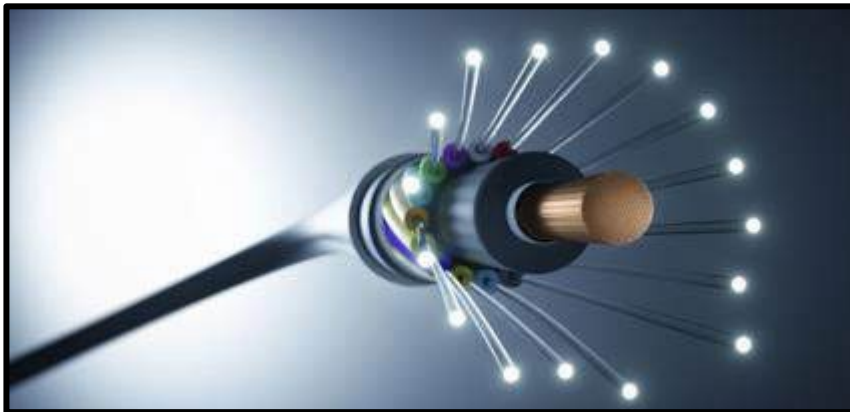


Fig 4-5 – Cabo híbrido

d) guias de onda são utilizadas em sistemas de comunicações e não comunicações que operam em frequências de micro-ondas ou em alta potência, como terminais de comunicações via satélite.

4.4.1.4 Sem Fio (Não Confinado)

4.4.1.4.1 Utilizam-se ondas eletromagnéticas (por exemplo, rádio, micro-ondas, ultravioleta, infravermelha etc) ou mecânicas (corda de violão, ondas sonoras etc.) para transmitir os sinais, dispensando a necessidade de cabos físicos. Não confinam o sinal, pois o canal de transmissão é o espaço livre.

4.4.1.4.2 Existem diversas tecnologias de comunicação sem fio, cada uma com suas características específicas:

a) radiofrequência – utiliza o espectro de frequências de rádio para transmitir os sinais. É amplamente utilizada em tecnologias, como rádio, televisão, telefonia celular e redes sem fio (*wireless*);

b) infravermelho – utiliza feixes de luz infravermelha para transmitir os sinais. É comumente utilizado em tecnologias como controle remoto de TVs, DVDs e outros aparelhos eletrônicos;

c) *bluetooth* – é uma tecnologia sem fio de curto alcance que usa o espectro de radiofrequência para transmitir dados entre dispositivos; e

d) WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* – Interoperabilidade mundial para acesso por micro-ondas) – é uma tecnologia sem fio de longo alcance que utiliza o espectro de radiofrequência para transmitir dados em alta velocidade.

4.4.1.5 Mensageiro

4.4.1.5.1 Utiliza pessoal a pé ou motorizado para transmitir informações em ambientes de combate ou em operações militares.

4.4.1.5.2 Esse tipo de enlace é empregado em situações em que a comunicação de

voz ou de dados é impraticável ou não confiável devido à interferência inimiga ou às falhas técnicas.

4.4.1.5.3 O enlace de comunicações por mensageiro tem sido utilizado há séculos em operações de guerra e é considerado uma forma confiável e segura de comunicação em ambientes hostis.

4.4.1.6 Visual

4.4.1.6.1 Utiliza sinais visuais, como fogos, luzes ou bandeiras, para transmitir informações.

4.4.1.6.2 Esse tipo de enlace é comumente empregado em comunicações militares, marítimas e aéreas, em ocasiões em que a comunicação de voz ou de dados pode ser difícil ou impossível.

4.4.1.6.3 Os sinais visuais podem ser usados para transmitir informações, como direção, perigo, socorro e identificação militar de amigo, inimigo, embarcações ou aeronaves.

4.4.1.7 Acústico

4.4.1.7.1 Utiliza sinais sonoros, como instrumentos musicais, sirenes, buzinas ou apitos, para transmitir informações. Ele é normalmente empregado em comunicações militares e de emergência, em situações em que a comunicação de voz ou dados pode apresentar dificuldades consideráveis ou até mesmo ser inviável.

4.4.1.7.2 Os sinais acústicos podem ser usados para transmitir informações, como alertas, avisos, instruções e códigos de emergência.

4.4.1.7.3 Ao contrário do enlace visual, que utiliza sinais visuais, o enlace acústico é mais eficaz em situações de baixa visibilidade, como em ambientes com nevoeiro ou escuridão.

4.4.2 QUANTO À DISTÂNCIA ENTRE OS TERMINAIS

4.4.2.1 Essa classificação é baseada na distância física entre os dispositivos que estão conectados em um enlace de comunicações.

4.4.2.2 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com a distância física entre os dispositivos: curta distância, média distância e longa distância.

4.4.2.3 Curta Distância

4.4.2.3.1 São aqueles que cobrem uma distância relativamente curta, geralmente dentro de uma instalação ou construção.

4.4.2.3.2 Esses enlaces são usados para comunicações entre dispositivos próximos, como a comunicação entre computadores em uma rede local, *Wi-Fi*, conexões *Bluetooth* e *USB*.

4.4.2.4 Média Distância

4.4.2.4.1 São aqueles que cobrem uma distância maior do que os enlaces de curta distância, geralmente em uma área geográfica limitada, como uma localidade, cidade ou região.

4.4.2.4.2 Esses enlaces são usados para conectar dispositivos em locais diferentes, como a comunicação entre prédios em um campus, a conexão de redes de filiais de uma empresa e a região de instalação de Posto de Comando.

4.4.2.5 Longa Distância

4.4.2.5.1 São aqueles que cobrem uma grande distância, geralmente entre cidades, países ou continentes.

4.4.2.5.2 Esses enlaces são usados para conectar redes em diferentes localidades, como a comunicação entre filiais de uma empresa em diferentes países, a conexão de redes de operadoras de telecomunicações em diferentes continentes e a ligação entre os Postos de Comando de uma Área de Operações.

4.4.2.5.3 A escolha da classificação quanto à distância dos enlaces de comunicações depende do tipo de aplicação, da distância entre os dispositivos e das limitações de orçamento e tecnologia.

4.4.2.5.4 É importante escolher o tipo certo de enlace de comunicações para garantir que a rede possa operar com eficiência e confiabilidade.

4.4.3 QUANTO AO NÚMERO DE PONTOS DE COMUNICAÇÃO

4.4.3.1 A classificação quanto ao número de pontos de comunicação é baseada no número de dispositivos que estão conectados em um enlace de comunicações.

4.4.3.2 Os enlaces podem ser classificados em quatro categorias de acordo com o número de pontos, tais como:

- a) ponto a ponto,
- b) ponto multiponto,
- c) multiponto ponto e
- d) multiponto multiponto.

4.4.3.3 Ponto a Ponto

4.4.3.3.1 O enlace ponto a ponto é um tipo de enlace de comunicações em que dois dispositivos são conectados diretamente, formando um canal exclusivo para a transmissão de informações entre eles.

4.4.3.3.2 Nesse tipo de enlace, a comunicação é direta e exclusiva entre os dois, sem a interferência de outros dispositivos na rede.

4.4.3.3.3 Esse tipo de enlace é comumente utilizado em sistemas de transmissão de

dados, como linhas de comunicação de telecomunicações ou redes rádios.

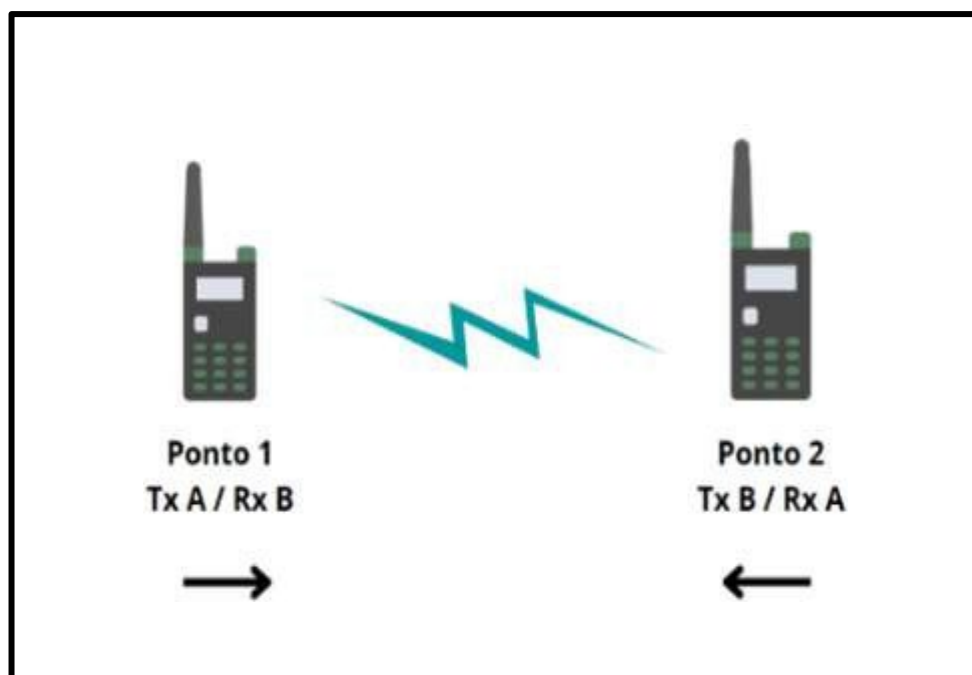


Fig 4-6 – Esquema de enlace ponto a ponto Fonte: Medeiros, 2016.

4.4.3.4 Ponto Multiponto

4.4.3.4.1 O enlace ponto multiponto é um tipo de enlace de comunicações em que um dispositivo central se comunica com vários dispositivos periféricos.

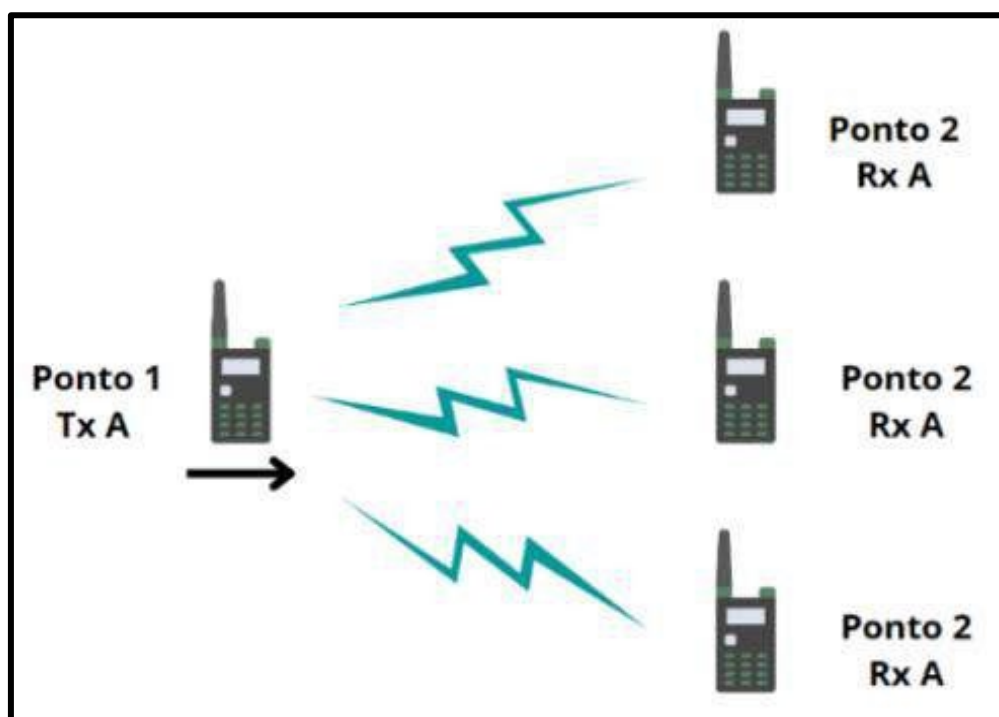


Fig 4-7 – Esquema de enlaces ponto multiponto Fonte: Medeiros, 2016.

4.4.3.4.2 Nesse tipo de enlace, o dispositivo central envia informações para todos os dispositivos periféricos simultaneamente, mas estes não se comunicam diretamente entre si.

4.4.3.4.3 Esse tipo de enlace é comumente utilizado em sistemas de transmissão de dados sem fio, como redes *Wi-Fi* ou sistemas de comunicação por satélite.

4.4.3.5 Multiponto Ponto

4.4.3.5.1 O enlace multiponto ponto é o inverso do enlace ponto multiponto, em que vários dispositivos periféricos se comunicam com um dispositivo central.

4.4.3.5.2 Nesse tipo de enlace, vários dispositivos periféricos enviam informações para um dispositivo central, que as recebe e as processa.

4.4.3.5.3 Esse tipo de enlace é comumente utilizado em sistemas de automação industrial ou em controle de processos, em que vários sensores e dispositivos precisam enviar informações para um único controlador.

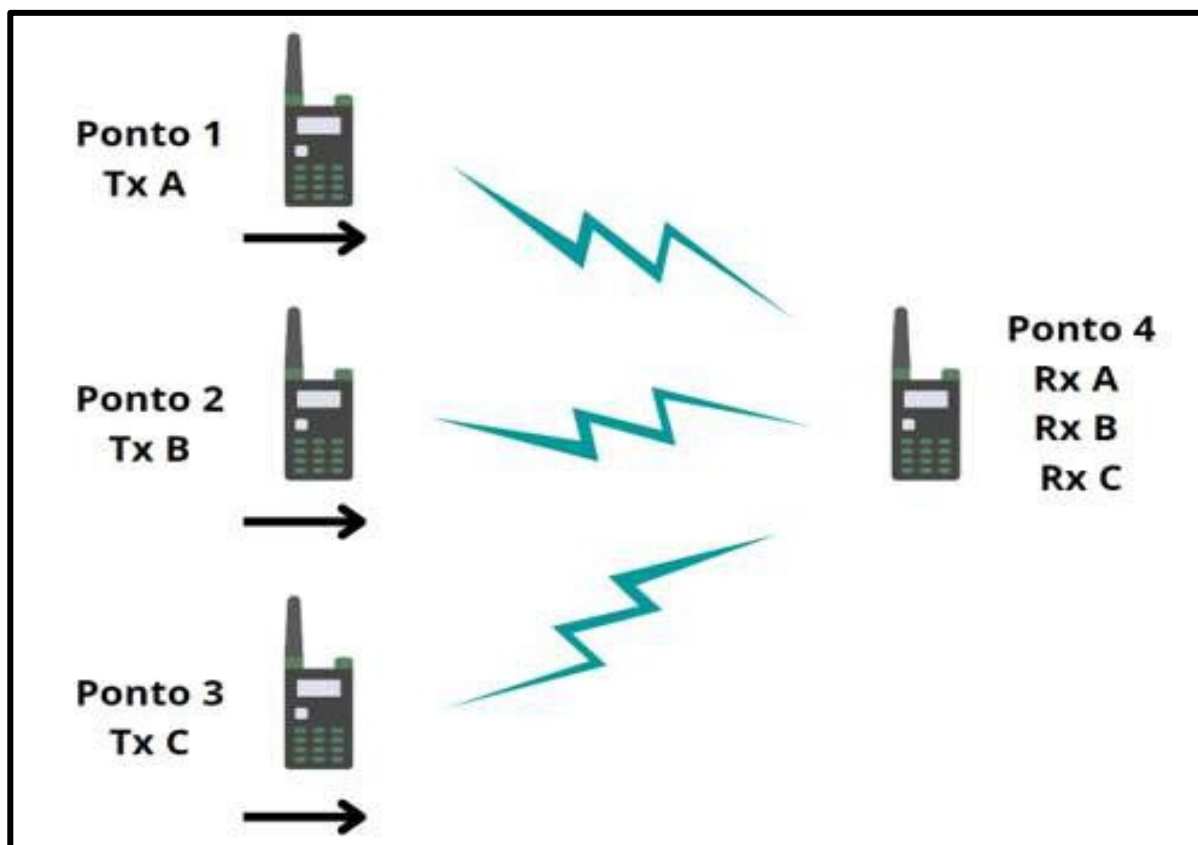


Fig 4-8 – Esquema de enlaces multiponto ponto Fonte: Medeiros, 2016.

4.4.3.6 Multiponto Multiponto

4.4.3.6.1 O enlace multiponto multiponto é um tipo de enlace de comunicações em que vários aparelhos são conectados entre si, permitindo que cada um se comunique com os demais dispositivos da rede.

4.4.3.6.2 Nesse tipo de enlace, a comunicação é compartilhada entre todos os dispositivos da rede, permitindo que vários deles se comuniquem entre si simultaneamente.

4.4.3.6.3 Esse tipo de enlace é comumente utilizado em redes de computadores, sistemas de telefonia celular e sistemas de comunicações por satélite.

4.4.3.7 Essas são as classificações mais comuns quanto ao número de pontos dos enlaces de comunicações.

4.4.3.8 A escolha da classificação depende do tipo de aplicação, do número de dispositivos e das outras características específicas da comunicação.

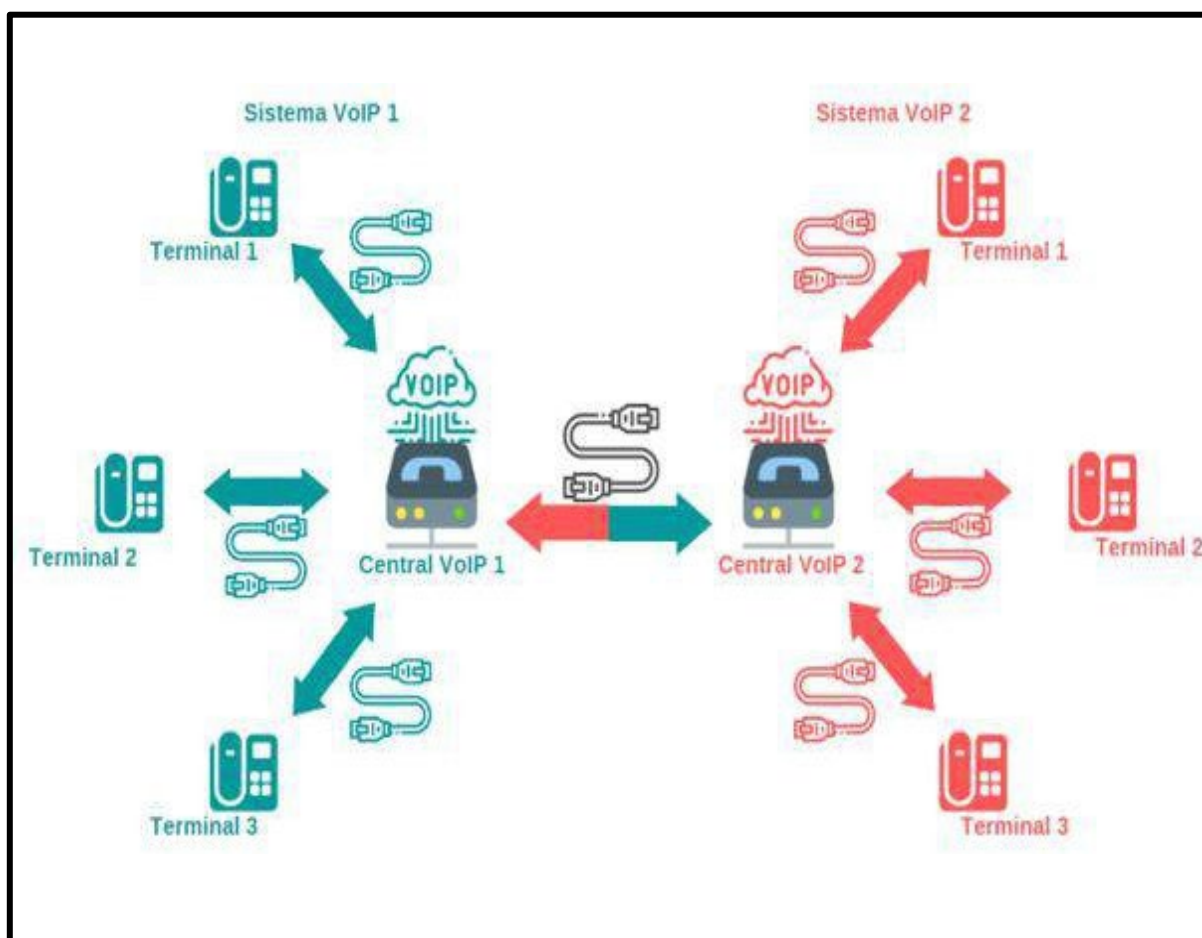


Fig 4-9 – Esquema de enlaces multiponto multiponto Fonte: Medeiros, 2016.

4.4.4 QUANTO À TOPOLOGIA

4.4.4.1 A classificação dos enlaces quanto à topologia se refere à maneira como os dispositivos em uma rede são conectados uns aos outros.

4.4.4.2 Os enlaces podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com a topologia a seguir.

4.4.4.3 Estrela (*Star*)

4.4.4.3.1 Na topologia em estrela, cada dispositivo é conectado a um ponto central.

4.4.4.3.2 Todas as informações passam por tal ponto, que as encaminha para o dispositivo de destino.

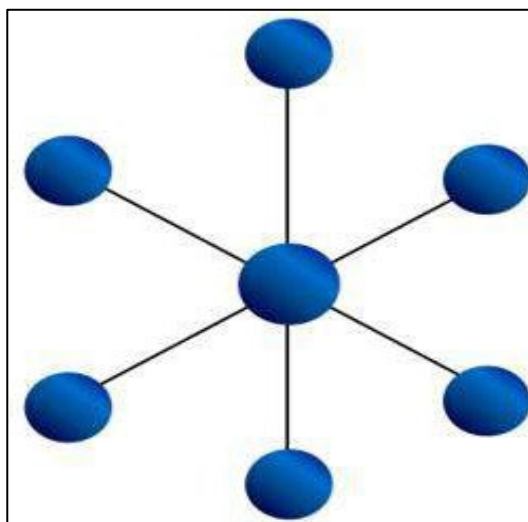


Fig 4-10 – Esquema de enlaces de topologia em estrela

4.4.4.4 Barramento (*Bus*)

- Na topologia em barramento, cada dispositivo é conectado a um barramento comum, que é usado para transmitir as informações para todos os dispositivos conectados a ele.

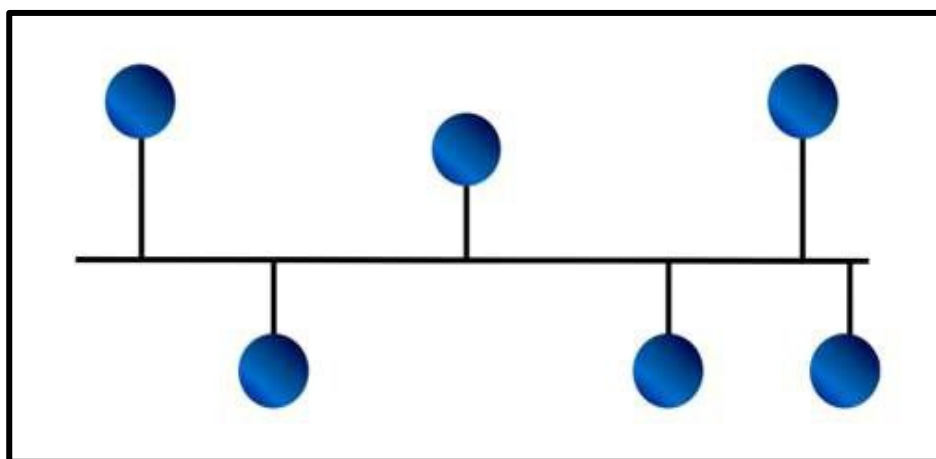


Fig 4-11 – Esquema de enlaces de topologia em barramento

4.4.4.5 Anel (*Ring*)

4.4.4.5.1 Na topologia em anel, os dispositivos são conectados em uma configuração circular, formando um "anel".

4.4.4.5.2 Cada dispositivo é conectado diretamente apenas com dois outros dispositivos, um à sua esquerda e outro à sua direita.

4.4.4.5.3 Os dados são transmitidos ao longo do anel em uma única direção, de um dispositivo para o próximo, até que cheguem ao destino pretendido.

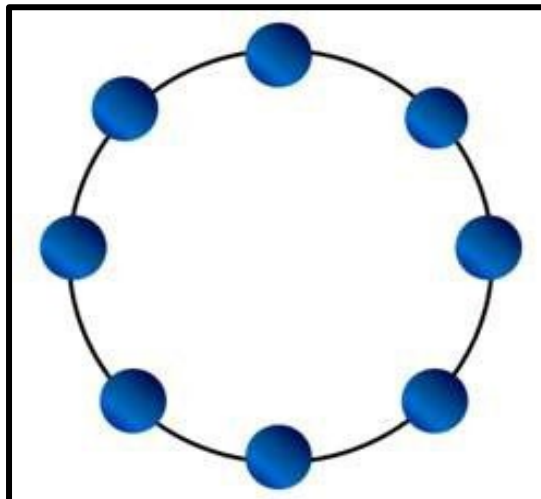


Fig 4-12 – Esquema de enlaces de topologia em anel

4.4.4.6 Malha (Mesh)

4.4.4.6.1 Na topologia em malha, cada dispositivo é conectado a todos os outros dispositivos, tornando a topologia de malha uma das mais robustas em termos de redundância e tolerância a falhas.

4.4.4.6.2 Cada dispositivo é chamado de nó. Existem dois tipos principais de topologia de malha: malha completa e malha parcial.

4.4.4.6.3 Na completa, cada nó é conectado diretamente a todos os outros, enquanto na parcial, cada nó é conectado a alguns outros, mas não a todos.

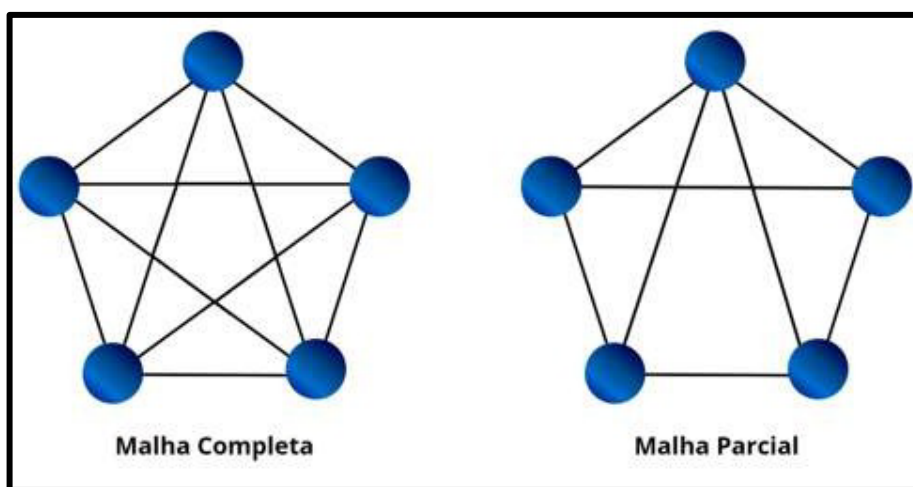


Fig 4-13 – Esquema de enlaces de topologia em malha

4.4.4.7 Árvore (*Tree*)

4.4.4.7.1 Na topologia em árvore, os dispositivos são organizados em uma estrutura hierárquica, semelhante a uma árvore.

4.4.4.7.2 Cada dispositivo está conectado a um nó pai, que é um dispositivo hierarquicamente superior.

4.4.4.7.3 Dessa forma, a estrutura de enlaces é organizada em várias camadas, em que cada uma representa um nível diferente na hierarquia.

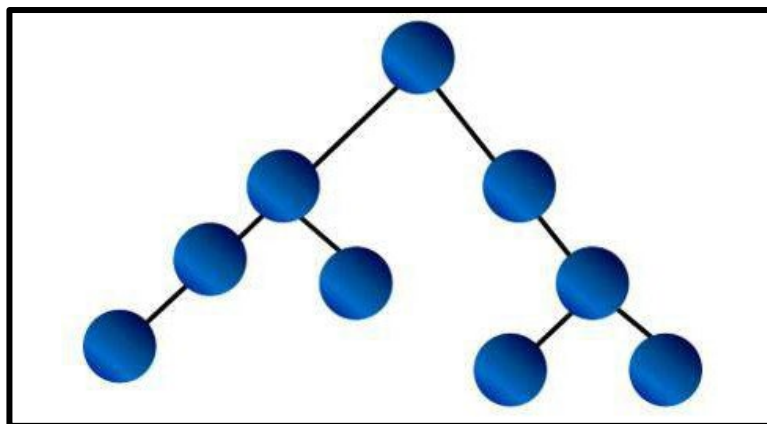


Fig 4-14 – Esquema de enlaces de topologia em árvore

4.4.4.8 Cascata (*Cascade*)

4.4.4.8.1 Na topologia em cascata, os dispositivos de rede são conectados em série, ou seja, um dispositivo está conectado ao próximo na cadeia, como uma cascata de água.

4.4.4.8.2 Nesta topologia, todos os dispositivos são conectados a um único caminho de comunicação, que passa por cada dispositivo na cadeia.

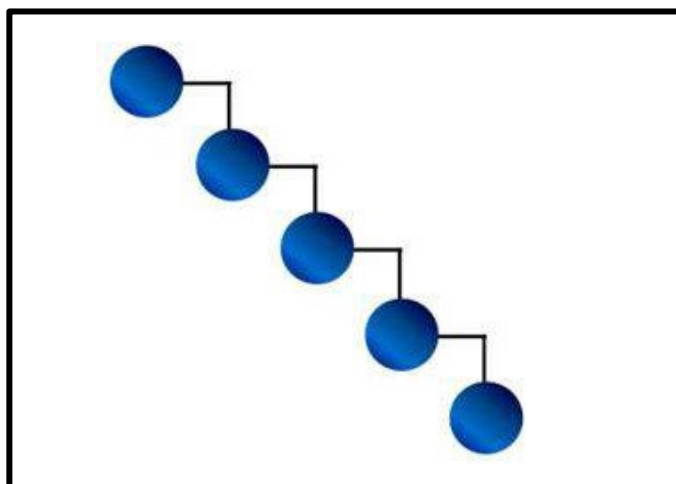


Fig 4-15 – Esquema de enlaces de topologia em cascata

4.4.4.9 Híbrida (*Hybrid*)

4.4.4.9.1 A topologia híbrida é uma combinação de duas ou mais topologias diferentes, como a topologia em estrela e em barramento, ou a topologia em estrela e em anel.

4.4.4.9.2 Ela é usada para aproveitar as vantagens de várias topologias, como a escalabilidade da topologia em estrela e a redundância da topologia em anel.

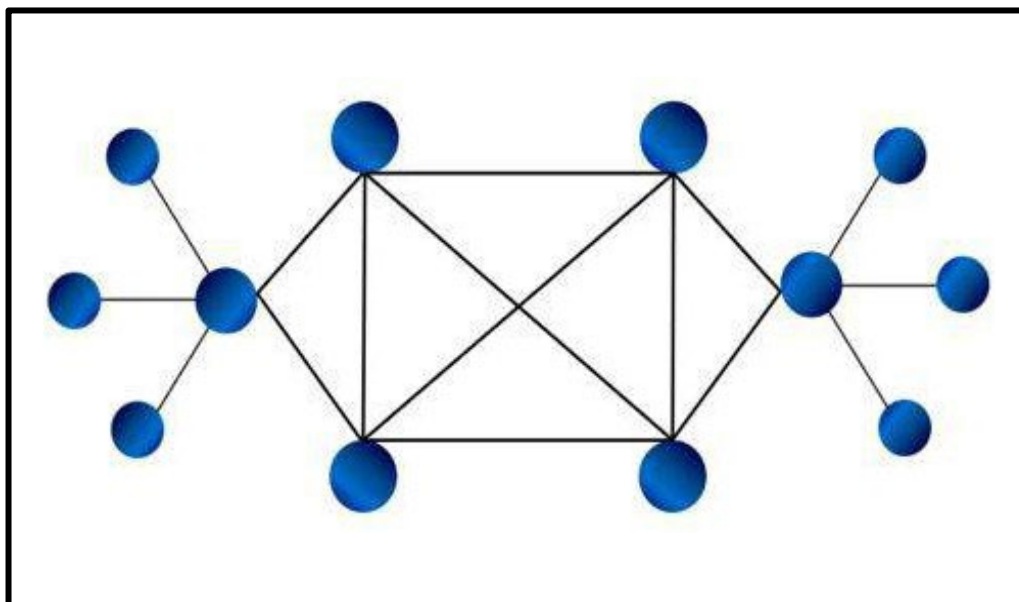


Fig 4-16 – Esquema de enlaces de topologia híbrida (malha + estrela)

4.4.4.10 Essa classificação é importante na escolha do tipo de topologia mais adequado para uma determinada aplicação, levando em consideração a quantidade de dispositivos envolvidos na comunicação, a distância de transmissão, a velocidade de transmissão, a confiabilidade e a escalabilidade do sistema de comunicações.

4.4.5 QUANTO À DIREÇÃO DA COMUNICAÇÃO

4.4.5.1 Os enlaces de comunicações podem ser classificados de acordo com a direção da comunicação, ou seja, o sentido em que os sinais da comunicação são transmitidos entre os dispositivos envolvidos.

4.4.5.2 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com a direção da comunicação, sendo elas: unidirecional, bidirecional e multidirecional ou omnidirecional.

4.4.5.3 Unidirecional

4.4.5.3.1 Neste tipo de enlace, a comunicação ocorre em uma única direção, ou seja, os sinais são transmitidos de um dispositivo para outro, mas não há possibilidade de transmissão no sentido contrário.

4.4.5.3.2 Exemplo: transmissão de TV por satélite.

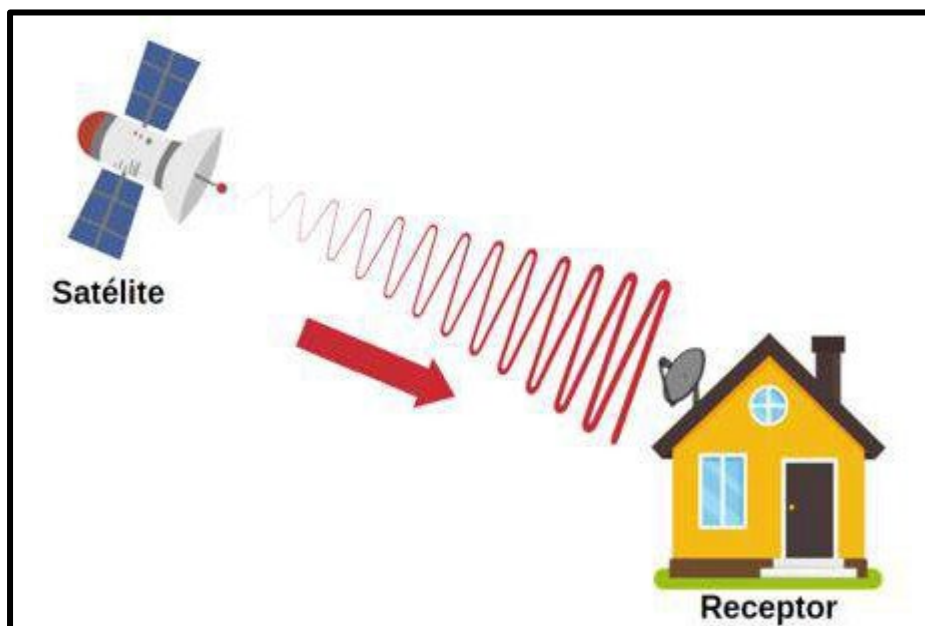


Fig 4-17 – Esquema de enlace unidirecional

4.4.5.4 Bidirecional

4.4.5.4.1 Neste tipo de enlace, a comunicação ocorre em ambas as direções, ou seja, os sinais são transmitidos entre dois dispositivos em ambos os sentidos.

4.4.5.4.2 Exemplo: comunicação entre dois computadores em uma rede.

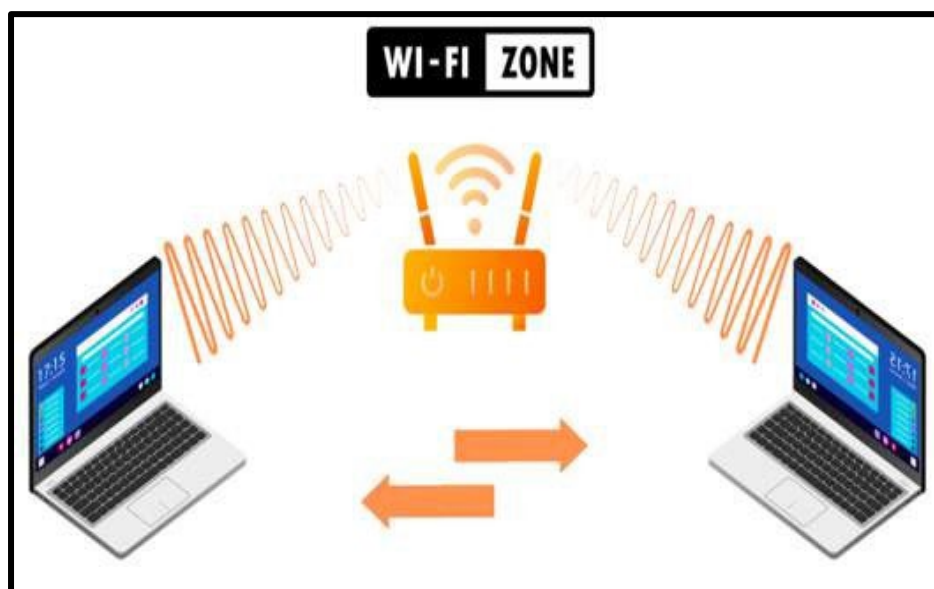


Fig 4-18 – Esquema de enlace bidirecional

4.4.5.5 Multidirecional ou Omnidirecional

4.4.5.5.1 Embora os enlaces, quanto à direção do fluxo de dados, sejam apenas unidirecionais ou bidirecionais, os multidirecionais representam uma técnica de

transmissão de múltiplos percursos entre dois terminais de comunicações. Ou seja, os sinais podem ser transmitidos entre vários dispositivos em qualquer direção.

4.4.5.5.2 Exemplo: comunicação em rede de computadores, em que vários dispositivos podem se comunicar entre si em qualquer direção.

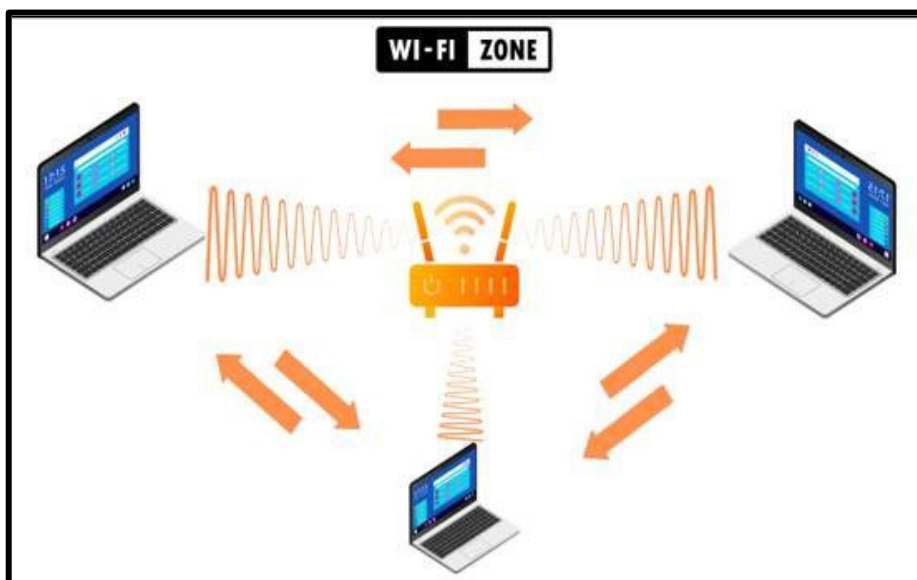


Fig 4-19 – Esquema de enlace multidirecional

4.4.5.6 Essa classificação é importante na escolha do tipo de enlace mais adequado para uma determinada aplicação, levando em consideração:

- a) a quantidade de dispositivos envolvidos na comunicação,
- b) a direção da transmissão do sinal e
- c) a complexidade do sistema de comunicações.

4.4.6 QUANTO AO MODO DE TRANSMISSÃO

4.4.6.1 Os enlaces de comunicações podem ser classificados de acordo com o modo de transmissão, que é a forma como os sinais são enviados de um dispositivo para outro.

4.4.6.2 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com o modo de transmissão, quais sejam: *Simplex*, *Half duplex* e *Full Duplex* ou *Duplex*.

4.4.6.3 Simplex

4.4.6.3.1 Neste tipo de enlace, a comunicação ocorre em uma única direção. A transmissão do sinal é feita apenas por um dos dispositivos, enquanto o outro dispositivo permanece passivo e apenas o recebe.

4.4.6.3.2 Exemplo: transmissão de TV.

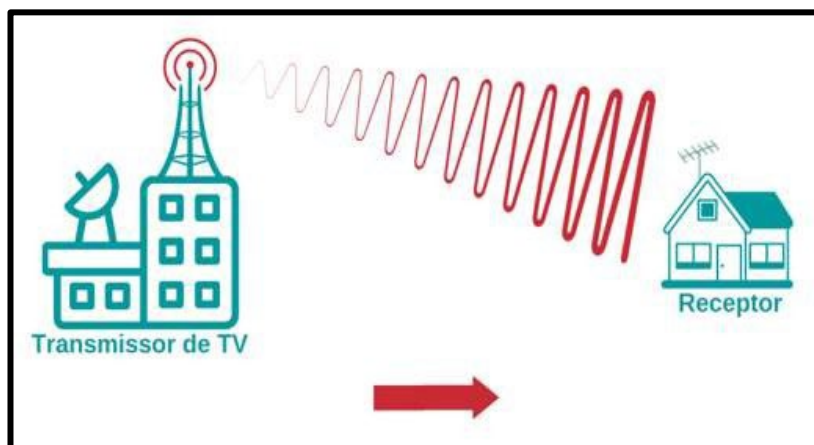


Fig 4-20 – Esquema de enlace simples

4.4.6.4 Half Duplex

4.4.6.4.1 Neste tipo de enlace, a comunicação ocorre em ambas as direções, mas apenas um dispositivo pode transmitir sinais de cada vez. Quando um dispositivo está transmitindo, o outro só pode receber, e vice-versa.

4.4.6.4.2 Exemplo: comunicações por rádio.

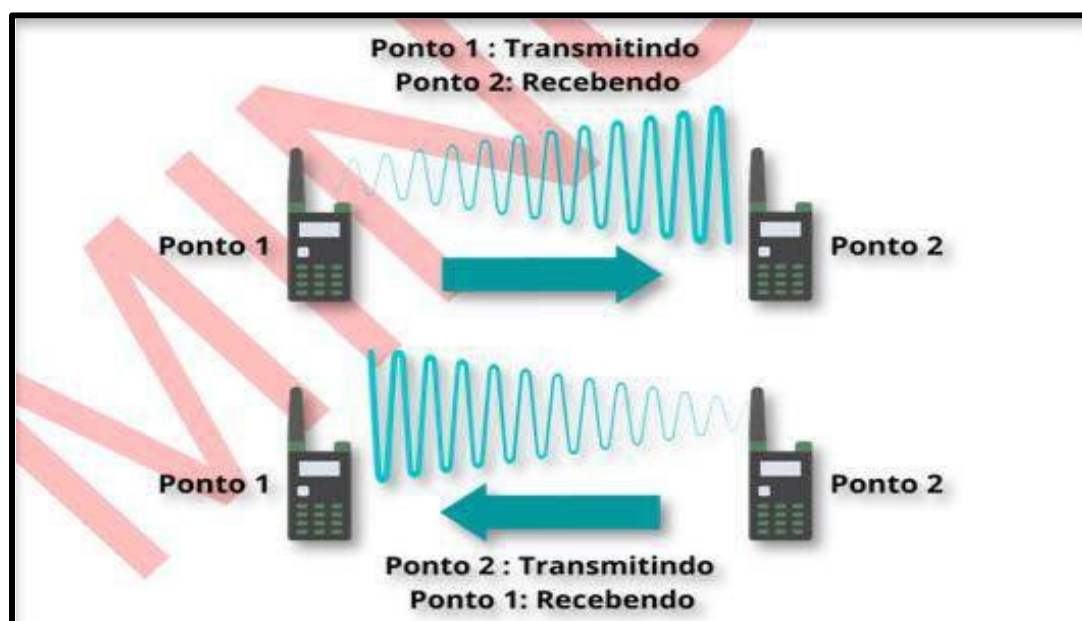


Fig 4-21 – Esquema de enlaces Half duplex

4.4.6.5 Full Duplex ou Duplex

4.4.6.5.1 Neste tipo de enlace, a comunicação ocorre em ambas as direções, e ambos os dispositivos podem transmitir e receber sinais simultaneamente. Isso é possível graças à utilização de dois canais de comunicação, um para cada direção.

4.4.6.5.2 Exemplo: telefonia.

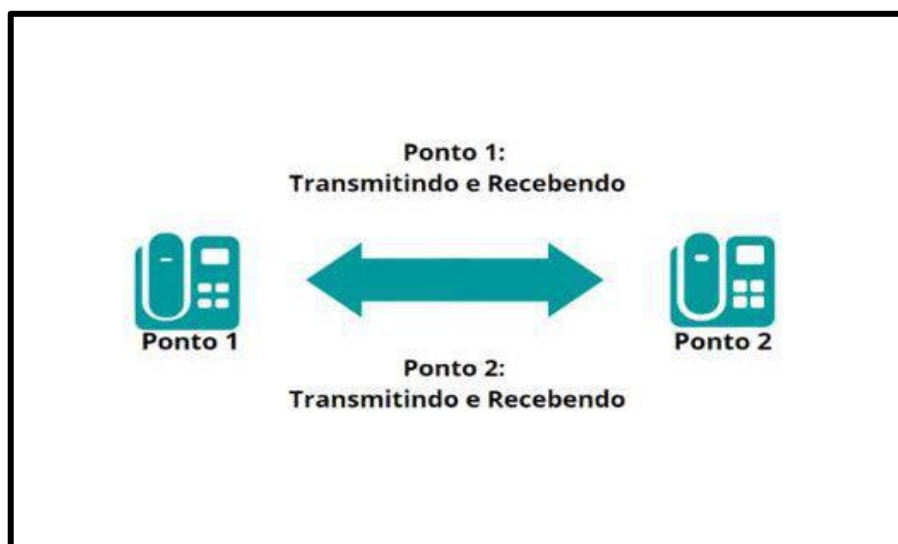


Fig 4-22 – Esquema de enlace full duplex

4.4.6.6 Essa classificação é importante na escolha do tipo de enlace mais adequado para uma determinada aplicação, levando em consideração a quantidade de sinais a serem transmitidos, a velocidade de transmissão e a complexidade da rede de comunicações.

4.4.7 QUANTO AO SINCRONISMO

4.4.7.1 Os enlaces de comunicações também podem ser classificados de acordo com a forma de sincronia, ou seja, como os dispositivos envolvidos na comunicação coordenam a transmissão e recepção dos sinais.

4.4.7.2 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com a direção da comunicação, conforme a seguir:

4.4.7.2.1 Assíncrono – nesse tipo de enlace, os sinais são transmitidos em blocos de tamanho variável, sendo que cada bloco inclui um caractere de início e um de parada, para indicar o início e o fim da transmissão de sinais respectivamente. Exemplo: comunicação serial assíncrona entre um computador e um dispositivo periférico, como uma impressora ou um scanner.

4.4.7.2.2 Síncrono – nesse tipo de enlace, os sinais são transmitidos em blocos de tamanho fixo, sem a inclusão de caracteres de início e parada. A transmissão é coordenada através de um sinal de sincronismo, que permite aos dispositivos envolvidos manterem uma taxa de transferência de dados. Exemplo: enlace micro-ondas ponto a ponto entre os centros nodais (CN) e os nós de acesso (NA).

4.4.7.2.3 Isócrono – nesse tipo de enlace, os sinais são transmitidos em intervalos de tempo fixos e regulares, sem variações significativas na taxa de transferência. Isso significa que, em um enlace isócrono, o tempo entre cada transmissão é constante e não há lacunas ou interrupções significativas durante a transmissão de sinais.

- Exemplo: transmissão de áudio e vídeo em tempo real, como em uma videoconferência.

4.4.7.3 Essa classificação é importante na escolha do tipo de enlace mais adequado para uma determinada aplicação, levando em consideração a taxa de transferência de sinais, a sincronia entre os dispositivos, a confiabilidade da transmissão e a qualidade do sinal.

4.4.8 QUANTO À LATÊNCIA

4.4.8.1 A classificação dos enlaces de comunicações quanto à latência se refere ao tempo que leva para um pacote de dados ser transmitido de um dispositivo para outro.

4.4.8.1.1 Essa classificação é importante porque a latência pode afetar a qualidade da comunicação entre os dispositivos, principalmente em aplicações que exijam uma transmissão em tempo real.

4.4.8.1.2 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com a latência.

4.4.8.2 Baixa Latência

4.4.8.2.1 São enlaces que possuem um tempo de transmissão muito baixo, geralmente inferior a 10 milissegundos (ms).

4.4.8.2.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações em rede de área local (LAN) e enlaces de comunicações em dispositivos eletrônicos.

4.4.8.3 Média Latência

4.4.8.3.1 São enlaces que possuem um tempo de transmissão intermediário, geralmente entre 10 ms e 100 ms.

4.4.8.3.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações em rede de longa distância (WAN), como linhas dedicadas, e enlaces de comunicações em sistemas de controle industrial.

4.4.8.4 Alta Latência

4.4.8.4.1 São enlaces que possuem um tempo de transmissão elevado, geralmente acima de 100 ms.

4.4.8.4.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações em redes de comunicações por satélite, em sistemas de monitoramento remoto e em sistemas de segurança.

4.4.8.5 A escolha do tipo de enlace a ser utilizado dependerá da aplicação específica e da importância da latência para o desempenho do sistema.

4.4.8.6 Por exemplo, em aplicações que exigem uma resposta em tempo real, como videoconferências e transmissões de vídeo, é essencial escolher enlaces com baixa latência para garantir uma comunicação mais rápida e confiável.

4.4.9 QUANTO À TAXA DE TRANSMISSÃO OU VELOCIDADE

4.4.9.1 A classificação dos enlaces de comunicações quanto à taxa de transmissão ou velocidade se refere à quantidade de dados que podem ser transmitidos por segundo através do enlace.

4.4.9.2 Essa classificação é importante porque a taxa de transmissão pode influenciar o desempenho da comunicação entre os dispositivos.

4.4.9.3 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com a taxa de transmissão, conforme a seguir.

4.4.9.4 Baixa Velocidade

4.4.9.4.1 São enlaces que possuem uma taxa de transmissão relativamente baixa, geralmente a seguir de 1 Mbps (megabit por segundo).

4.4.9.4.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações serial assíncrona, como RS-232, e enlaces de comunicações entre dispositivos periféricos, como impressoras, scanners, rádios HF e VHF.

4.4.9.5 Média Velocidade

4.4.9.5.1 São enlaces que possuem uma taxa de transmissão intermediária, geralmente entre 1 Mbps e 100 Mbps.

4.4.9.5.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações LAN, como Ethernet e Wi-Fi, rádios UHF (Ultra-high Frequency), rádios micro-ondas e terminal transportável do Sistema de Comunicações Militares por Satélite (SISCOMIS).

4.4.9.6 Alta Velocidade

4.4.9.6.1 São enlaces que possuem uma taxa de transmissão elevada, geralmente acima de 100 Mbps.

4.4.9.6.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações de rede de longa distância (WAN) e enlaces de comunicações de alta velocidade entre *data centers*.

4.4.9.7 A escolha do tipo de enlace a ser utilizado dependerá da quantidade de dados a serem transmitidos, da distância entre os dispositivos, da qualidade do sinal, da latência da rede e de outros fatores relacionados à aplicação específica.

4.4.10 QUANTO AO TIPO DE CONEXÃO

4.4.10.1 A classificação por tipo de conexão refere-se à forma como é estabelecida a ligação entre os dispositivos conectados em um enlace de comunicações.

4.4.10.2 Os enlaces podem ser classificados em três categorias de acordo com o tipo de conexão, conforme a seguir.

4.4.10.3 Conexão Dedicada

4.4.10.3.1 Neste caso, os dispositivos permanecem conectados o tempo todo, independentemente de haver ou não tráfego de informação sendo transmitido. A conexão é estabelecida antes que a transmissão de dados comece e permanece ativa durante todo o tempo em que os dispositivos estiverem conectados.

4.4.10.3.2 Exemplos comuns incluem uma linha telefônica dedicada ou uma conexão de fibra óptica entre dois pontos.

4.4.10.4 Conexão Sob Demanda

4.4.10.4.1 Neste caso, a conexão é estabelecida apenas quando há necessidade de transmitir informação entre os dispositivos. Quando a transmissão é concluída, a conexão é encerrada.

4.4.10.4.2 Exemplos comuns incluem uma conexão de *modem dial-up* ou uma conexão de rede sem fio, em que um dispositivo se conecta a outro sob demanda.

4.4.10.5 Conexão Virtual

4.4.10.5.1 Neste caso, a conexão é estabelecida de forma lógica, sem a necessidade de um canal físico exclusivo. Isso permite que vários dispositivos se conectem e, então, transmitam informações usando a mesma conexão virtual, o que pode ser útil em cenários de rede em que os recursos físicos são limitados.

4.4.10.5.2 Exemplos comuns incluem uma conexão VPN (*Virtual Private Network* - Rede Privada Virtual), conexão MPLS (*Multiprotocol Label Switching* - Comutação de Rótulo Multiprotocolo) ou Conexão Virtual de Rede (VLAN).

4.4.10.5.3 A classificação por tipo de conexão é importante para determinar a eficiência e a capacidade de um enlace de comunicação para atender às necessidades de transmissão de dados de um determinado contexto ou de uma determinada aplicação, além de influenciar no custo e na complexidade da implementação do enlace de comunicação.

4.4.11 QUANTO AO TIPO DE SINAL

4.4.11.1 A classificação dos enlaces de comunicações quanto ao tipo de sinal se refere à natureza do sinal utilizado para transmitir os dados entre os dispositivos.

4.4.11.2 Os enlaces podem ser classificados em duas categorias de acordo com o tipo de sinal, tais como:

- Analógico e
- Digital.

4.4.11.3 Analógico

4.4.11.3.1 Neste tipo de enlace, a informação é transmitida utilizando um sinal

analógico, que varia continuamente no tempo e no espaço.

4.4.11.3.2 Exemplos comuns incluem a transmissão de voz através de uma linha telefônica analógica, a transmissão de televisão e rádio por meio de ondas eletromagnéticas, e a transmissão de sinais de sensores e controladores em sistemas de automação industrial.

4.4.11.4 Digital

4.4.11.4.1 Neste tipo de enlace, a informação é transmitida utilizando um sinal digital, que consiste em uma sequência discreta de bits (0s e 1s). Exemplos comuns incluem a comunicação de dados entre computadores através da internet, transmissão de áudio e vídeo por meio de redes digitais, e comunicação de voz por meio de redes telefônicas digitais.

4.4.11.4.2 A escolha entre um enlace analógico e um enlace digital pode depender de vários fatores, como qualidade do enlace de comunicações, distância entre os dispositivos, disponibilidade de largura de banda e complexidade do sistema de comunicações.

4.4.12 QUANTO À SEGURANÇA

4.4.12.1 A classificação dos enlaces de comunicações quanto à segurança se refere à capacidade do enlace em proteger os dados transmitidos contra interceptação, modificação ou acesso não autorizado.

4.4.12.2 A segurança é uma preocupação importante em muitas aplicações, como sistemas militares, financeiros, médicos e governamentais.

4.4.12.3 Os enlaces podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com a segurança, tais como: sem segurança, segurança básica e segurança avançada.

4.4.12.4 Sem Segurança

4.4.12.4.1 São enlaces que não possuem nenhuma medida de segurança para proteger os dados transmitidos. Os dados são transmitidos em claro e podem ser facilmente interceptados ou modificados por um atacante.

4.4.12.4.2 Exemplos incluem enlaces de comunicações sem fio não criptografados.

4.4.12.5 Segurança Básica

4.4.12.5.1 São enlaces que possuem alguma medida de segurança básica para proteger os dados transmitidos, como criptografia simples ou autenticação básica.

4.4.12.5.2 Essas medidas de segurança são relativamente fáceis de serem quebradas por um atacante experiente.

4.4.12.5.3 Exemplos incluem enlaces de comunicações com criptografia de chave simétrica.

4.4.12.6 Segurança Avançada

4.4.12.6.1 São enlaces que possuem medidas de segurança avançadas para proteger os dados transmitidos, como criptografia de chave pública, autenticação forte e protocolos de segurança avançados.

4.4.12.6.2 Essas medidas de segurança são mais difíceis de serem quebradas por um atacante. Exemplos incluem enlaces de comunicações com criptografia de chave pública, como *Transport Layer Security/ Secure Sockets Layer* (SSL/TLS) e VPN.

4.4.12.6.3 A escolha do tipo de enlace a ser utilizado dependerá da sensibilidade dos dados transmitidos, do nível de segurança necessário e das ameaças potenciais ao sistema.

4.4.12.6.4 É importante escolher medidas de segurança adequadas para garantir a confidencialidade, integridade e disponibilidade dos dados transmitidos.

4.4.13 QUANTO À CONFIABILIDADE

4.4.13.1 A classificação dos enlaces de comunicações quanto à confiabilidade se refere à capacidade do enlace em transmitir os dados de forma consistente e sem erros.

4.4.13.2 A confiabilidade é uma preocupação importante em muitas aplicações, como sistemas de controle industrial, sistemas de transporte e sistemas de comunicações críticos.

4.4.13.3 A escolha do tipo de enlace a ser utilizado dependerá da sensibilidade da aplicação, da importância da confiabilidade dos dados transmitidos e do nível de risco associado à falha do sistema.

4.4.13.4 É importante escolher enlaces confiáveis para garantir a integridade, disponibilidade e segurança dos dados transmitidos.

4.4.13.5 Os enlaces podem ser classificados em diferentes categorias de acordo com a confiabilidade, tais como:

- não confiável,
- com confiabilidade básica e
- com alta confiabilidade.

4.4.13.6 Não confiável

4.4.13.6.1 São enlaces que possuem alta probabilidade de falhas na transmissão de dados, como perda de pacotes, interferência ou interrupções.

4.4.13.6.2 Esses enlaces podem ser úteis para aplicações que não requerem uma alta confiabilidade, como transmissão de mídia não crítica.

4.4.13.7 Com confiabilidade básica

4.4.13.7.1 São enlaces que possuem algumas medidas para garantir a confiabilidade dos dados transmitidos, como retransmissão de pacotes perdidos ou detecção de erros.

4.4.13.7.2 Esses enlaces são adequados para aplicações que exigem uma confiabilidade moderada, como sistemas de automação industrial.

4.4.13.8 Com alta confiabilidade

4.4.13.8.1 São enlaces que possuem medidas avançadas para garantir a confiabilidade dos dados transmitidos, como redundância de caminhos; protocolos de detecção e correção de erros; e monitoramento constante da qualidade do sinal.

4.4.13.8.2 Esses enlaces são adequados para aplicações críticas que exigem uma alta confiabilidade, como sistemas de transporte, sistemas de defesa e sistemas de controle de tráfego aéreo.

4.4.14 QUANTO À LINHA DE VISADA OU LINHA DE VISIBILIDADE

4.4.14.1 O enlace de comunicações pode ser classificado como “linha de visada” (LoS - *Line of Sight*) ou “além da linha de visada” (NLoS - *Non-Line of Sight*), dependendo das condições de propagação do sinal entre o transmissor e o receptor.

4.4.14.2 Em Linha de Visada (LoS)

4.4.14.2.1 Em condições LoS, o sinal de rádio viaja diretamente “em linha reta”⁶ do transmissor para o receptor, sem obstáculos significativos no caminho. Isso significa que não há obstruções físicas significativas, como edifícios, árvores ou montanhas, que possam bloquear ou desviar o sinal.

4.4.14.2.2 A propagação do sinal LoS é geralmente considerada mais confiável e oferece maior qualidade e velocidade de transmissão.

4.4.14.3 Além da Linha de Visada (NLoS)

4.4.14.3.1 É o caminho de propagação de ondas de rádio que liga elementos muito distantes, completamente obstruídos pelo terreno ou por objetos artificiais, ou, ainda, além da linha do horizonte.

4.4.14.3.2 Esse tipo de comunicação pode utilizar aeronaves, inclusive remotamente pilotadas e autônomas, e sua propagação pode acontecer por meio de ondas superficiais, troposféricas e ionosféricas para o estabelecimento do enlace. Os exemplos mais comuns são enlaces por radiofrequência em HF e por satélite.

⁶ A trajetória do sinal depende das condições atmosféricas.

4.4.14.3.3 A propagação do sinal NLoS é geralmente considerada menos confiável e pode levar a uma redução na qualidade e velocidade de transmissão.

4.4.14.3.4 O princípio de funcionamento dessas condições de propagação é baseado na física das ondas eletromagnéticas, que podem ser refletidas, refratadas, difratadas ou absorvidas por objetos em seu caminho.

4.4.14.3.5 O sinal LoS é transmitido diretamente de um ponto a outro sem obstáculos no caminho, já o sinal NLoS é refletido ou difratado em diferentes obstáculos, o que pode levar a um atraso ou enfraquecimento do sinal.

4.4.14.3.6 A compreensão dessas condições é importante em aplicações de telecomunicações, como em sistemas de navegação por satélite, redes de celular e comunicações de rádio em geral, pois pode afetar a qualidade e a confiabilidade da transmissão de dados.

4.5 FORMAS DE EMPREGO DOS ENLACES DE COMUNICAÇÕES

4.5.1 TELEFONIA FIXA

4.5.1.1 É uma forma de comunicação que permite a transmissão de voz por meio de cabos físicos ou fibras ópticas. Este tipo de comunicação é chamado de "fixa" porque os telefones estão conectados a uma linha física para o usuário (terminais), que é a principal diferença em relação à telefonia móvel, que utiliza redes de antenas para transmitir o sinal. De forma transparente ao usuário, em algum trecho na comunicação (Linha Pública PSTN), pode ocorrer a transmissão por antenas, via satélite ou por outro meio. Os terminais, em que pese o acesso por linha física, também podem ser baseados em comunicações sem fio em âmbito local, com transmissor (base) e receptor (telefone) de curto alcance.

4.5.1.2 O funcionamento básico da telefonia fixa é relativamente simples. Quando alguém pega o telefone e disca um número, a discagem é convertida em sinais elétricos que viajam através de um cabo físico ou de uma fibra óptica até chegar a um sistema de comutação. O sistema de comutação, que pode ser controlado automaticamente ou manualmente, então, direciona a chamada para o número correto.

4.5.1.3 Uma vez que a chamada é direcionada para o número solicitado, uma conexão entre os dois telefones é estabelecida, permitindo que a voz de uma pessoa seja transmitida para a outra. Quando a chamada termina, a conexão é interrompida e a linha fica livre para outras chamadas.

4.5.1.4 A telefonia fixa tem evoluído ao longo dos anos para oferecer recursos adicionais, como identificador de chamadas, correio de voz, chamada em espera, rediscagem automática e outras funcionalidades. No entanto, mesmo quando utiliza Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) como enlace, que via de regra é transparente para o usuário, o princípio básico do sistema de telefonia fixa permanece o mesmo, ou seja, a transmissão de voz através de uma linha física, seja ela uma linha telefônica, um cabo de rede ou de fibra óptica.

4.5.1.5 Embora a telefonia fixa tenha perdido popularidade para a telefonia móvel, ela ainda é amplamente utilizada em residências, empresas e governos em todo o mundo. A telefonia fixa também é empregada como infraestrutura para outras formas de comunicação, como serviços de internet de banda larga e televisão por cabo.

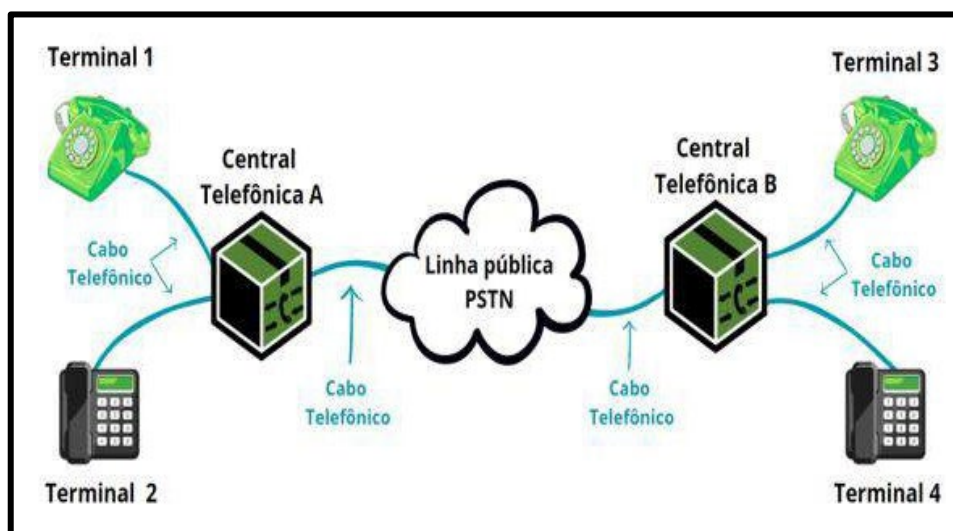


Fig 4-23 – Esquema de telefonia fixa

4.5.2 TELEFONIA MÓVEL CELULAR

4.5.2.1 É uma rede de comunicações sem fio que permite a transmissão de voz, dados e mensagens de texto entre dispositivos móveis (Estação Móvel). O seu funcionamento é baseado em uma rede ERB, também conhecida como torres de celular, que são interconectadas a uma central de comutação e controle (CCC).

4.5.2.2 O processo de transmissão de chamadas na telefonia celular começa quando um usuário faz uma ligação do seu dispositivo móvel para outro número de telefone. A chamada é enviada para a ERB mais próxima, que é responsável por receber e transmitir as informações da chamada para a CCC. Essa, então, contacta e encaminha a chamada para a ERB mais próxima do destinatário, que, em seguida, repassa a chamada para o dispositivo móvel do destinatário.

4.5.2.3 As ERB utilizam ondas de rádio, enlaces de micro-ondas ou cabos ópticos para transmitir e receber informações entre os dispositivos móveis e a CCC. Cada torre de celular é responsável por uma área geográfica, conhecida como célula. As células adjacentes se sobrepõem para garantir a cobertura contínua de uma área maior. Quando um usuário se move de uma célula para outra durante uma chamada, o sistema de telefonia móvel celular realiza automaticamente uma transferência de chamada, na qual a chamada é fornecida da ERB da célula atual para a estação da célula seguinte.

4.5.2.4 A telefonia móvel celular utiliza um conjunto de protocolos para garantir a segurança e a confiabilidade da transmissão de dados e chamadas. As informações são codificadas para proteger a privacidade do usuário e evitar interferências de outras fontes de rádio, e a rede é projetada para lidar com grandes volumes de tráfego de dados e de chamadas simultaneamente.

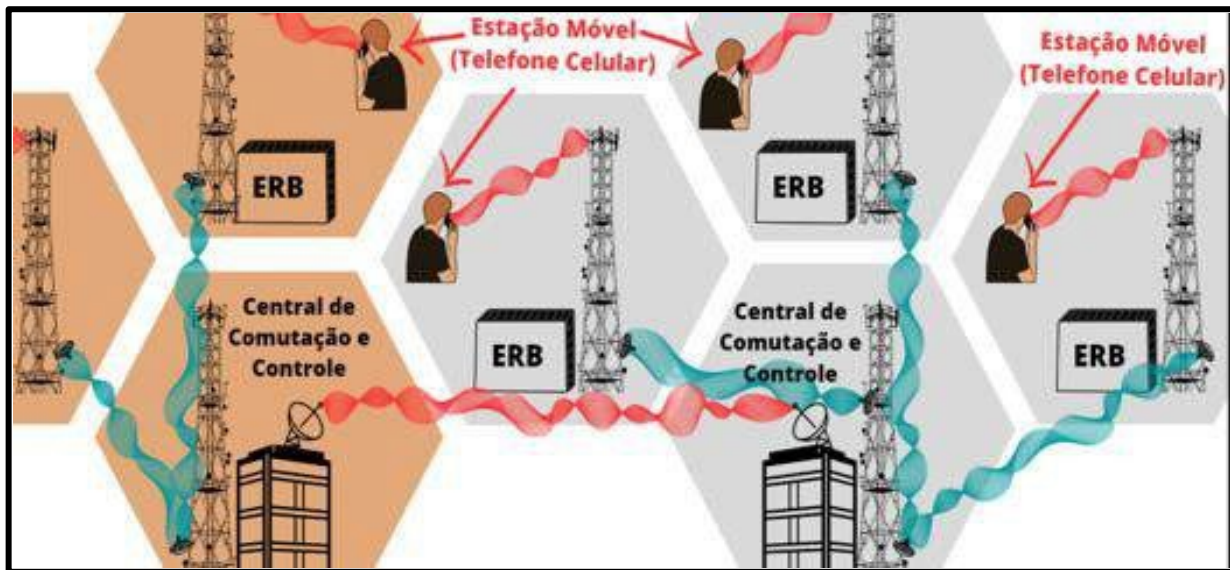


Fig 4-24 – Comunicações por telefonia móvel celular

4.5.3 ENLACE POR RÁDIO HF

4.5.3.1 O enlace por rádio HF (*High Frequency*) é amplamente utilizado em todo o mundo para comunicação de longa distância em várias aplicações, incluindo forças militares, radiodifusão, radiotelegrafia e outras.

4.5.3.2 Ele é baseado na propagação de ondas eletromagnéticas na faixa de frequência entre 3 e 30 MHz, que é também conhecida como faixa de HF ou faixa de ondas decamétricas, com ondas variando de 10 a 100 m de comprimento de onda (λ).

4.5.3.3 As ondas eletromagnéticas HF propagam-se na atmosfera terrestre e interagem com a ionosfera, uma camada de átomos ionizados e moléculas que se estende a cerca de 50 a 1000 km acima da superfície da Terra.

4.5.3.4 Quando as ondas rádio encontram a ionosfera, algumas delas são refratadas e refletidas de volta à Terra e outras continuam a se propagar pelo espaço. A intensidade de ondas refletidas depende da frequência da onda e de algumas características da ionosfera, como a densidade elétrica, a variação vertical de temperatura e a pressão.

4.5.3.5 A propagação de ondas HF pode ser dividida em duas categorias principais: propagação de ondas de superfície (ou ondas terrestres) e propagação de ondas ionosféricas (ou ondas celestes).

4.5.3.6 As ondas de superfície são aquelas que se propagam diretamente da antena transmissora para a antena receptora, acompanhando a superfície terrestre, sem interação significativa com a ionosfera. Esse tipo de propagação é geralmente limitado a distâncias relativamente curtas, tipicamente de algumas dezenas de quilômetros.

4.5.3.7 Por outro lado, as ondas ionosféricas são aquelas que se propagam pela ionosfera e podem ser refletidas várias vezes, permitindo que as ondas alcancem grandes distâncias.

4.5.3.8 Essa propagação é influenciada por muitos fatores, incluindo a hora do dia, a temporada do ano, a localização geográfica, a atividade solar e as condições meteorológicas.

4.5.3.9 Em geral, as ondas rádio HF são mais efetivas em alcançar longas distâncias durante a noite, quando apenas as subcamadas ionosféricas mais altas estão presentes, devido à ausência de radiação solar.

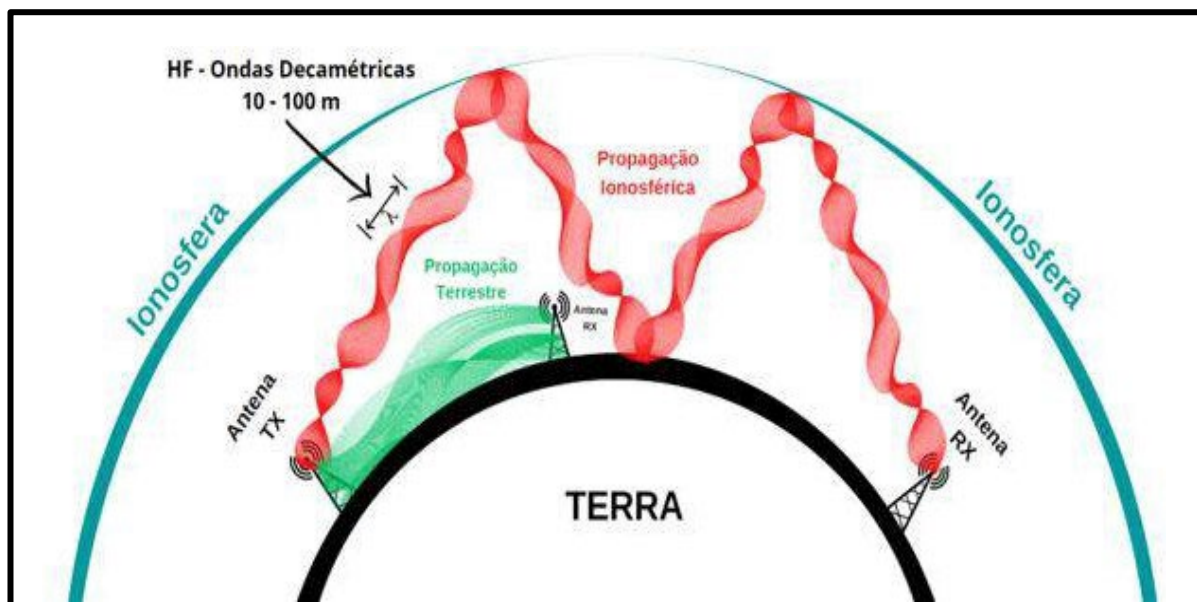


Fig 4-25 – Comunicações por rádio HF

4.5.3.10 A taxa de transferência de dados em HF é limitada e bastante baixa em comparação com tecnologias modernas de banda larga. A capacidade máxima da taxa de transmissão varia com base em vários fatores como a qualidade do equipamento, a distância entre a estação transmissora e receptora; e as condições atmosféricas.

4.5.3.11 O rádio Harris RF-7800H (Família Falcon III – 1,5000 MHz a 59,9999 Mhz), que é um equipamento na faixa de HF empregado na F Ter, pode atingir uma taxa de transmissão de dados de até 120 kbps (kilobits por segundo).

4.5.3.12 O rádio Harris MPR-9600 (Família Falcon II – 1,6000 MHz a 29,9999 MHz), outro rádio em HF empregado na F Ter, pode atingir uma taxa de transmissão de dados de 9,6 Kbps nos modelos MP002/MP003 e RE002.

4.5.3.13 Este tipo de enlace é amplamente utilizado para ligação entre frações de selva, escalões unidade e inferiores, quando o equipamento em questão é da versão portátil. Quando na versão veicular, são amplamente utilizados em viaturas blindadas, mecanizadas e motorizadas, e até mesmo para ligação nos escalões Unidade e superiores. Quando na versão fixa, mobíliam o Sistema de Telemática do Exército (SisTEx), fazendo parte da Rede Rádio Fixa (RRF), bem como da Rede Integrada de Comunicações em HF (RICH).

4.5.4 ENLACE POR RÁDIO VHF

4.5.4.1 O enlace por rádio VHF (*Very High Frequency*) é um tipo de comunicação sem fio que utiliza ondas eletromagnéticas rádio na faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz.

4.5.4.2 O sinal de rádio VHF (ondas eletromagnéticas) é gerado pelo transmissor e enviado para o receptor através do ar. A forma como as ondas rádio se propagam dependem da frequência.

4.5.4.3 As ondas rádio VHF têm um comprimento de onda relativamente curto. Elas são conhecidas como faixa de ondas métricas, com ondas variando de 1 a 10 m de comprimento de onda (λ).

4.5.4.4 A forma de propagação das ondas rádio VHF é caracterizada por sua propagação em linha reta, o que significa que o sinal é transmitido em linha de visada (LoS - *Line of Sight*) direta entre o transmissor e o receptor.

4.5.4.5 A linha de visada é essencial para o funcionamento do enlace por rádio VHF. Isso significa que é necessário um enlace direto, sem obstruções, entre o transmissor e o receptor para que a comunicação ocorra com sucesso.

4.5.4.6 A taxa de transmissão de dados em enlace VHF é geralmente limitada pela largura de banda disponível. Em média, a taxa de transmissão pode variar entre alguns kbps (quilobits por segundo) a dezenas de Mbps (megabits por segundo).

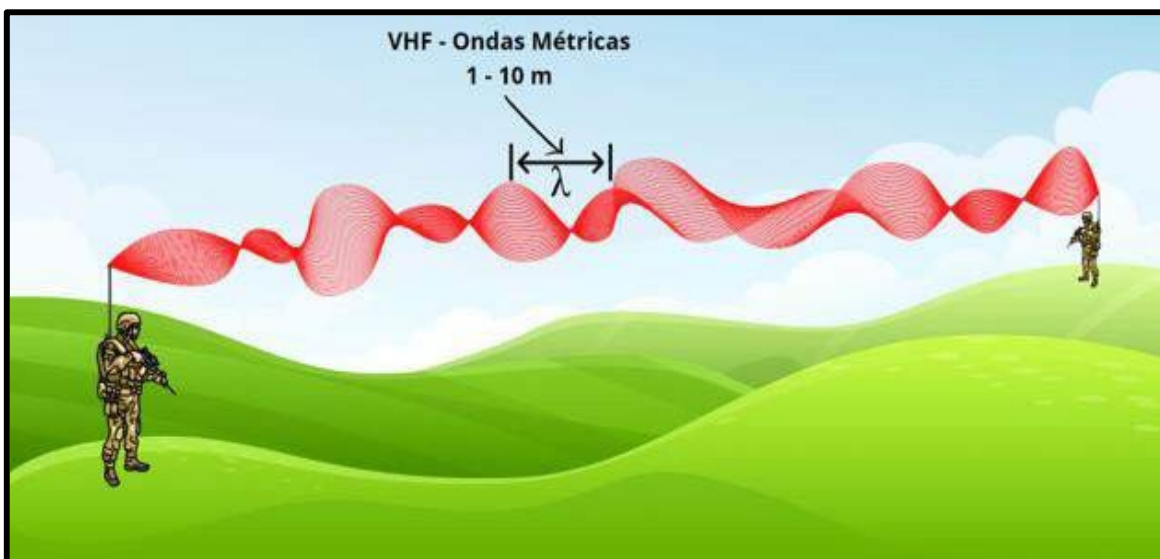


Fig 4-26 – Comunicações por rádio VHF

4.5.4.7 O rádio Harris RF-7800V (Família Falcon III – 30,0000 MHz a 108,0000 MHz), rádio em VHF empregado na F Ter, pode alcançar uma taxa máxima de até 192 Kbps, conforme previsto em seu manual de operação.

4.5.4.8 A largura de banda determina a quantidade de informações que podem ser transmitidas em um determinado período.

4.5.4.9 A modulação é o processo pelo qual os dados são codificados na forma de uma onda de rádio eletromagnética e será detalhada em um capítulo à parte neste manual.

4.5.4.10 Vários fatores podem afetar o alcance e a qualidade no sinal de rádio VHF. São exemplos as obstruções físicas, como edifícios, montanhas e outros obstáculos, além de interferências eletromagnéticas de fontes naturais e artificiais, como equipamentos elétricos e eletrônicos próximos.

4.5.4.11 O alcance do sinal em um enlace rádio VHF depende de vários fatores, como a potência do transmissor, a sensibilidade do receptor, a altura da antena e a presença de obstáculos físicos.

4.5.4.12 Em geral, o alcance do sinal de rádio VHF é limitado a algumas dezenas de quilômetros, mas quando as condições são ideais e a potência alta, o enlace pode alcançar a linha do horizonte. Por outro lado, esse alcance pode ser reduzido significativamente em ambientes urbanos densamente povoados ou em áreas com muitos obstáculos.

4.5.4.13 Este tipo de enlace, quando portátil, é amplamente utilizado para ligação entre os escalões pelotão e subunidade, além de pequenas frações de selva. Na versão veicular, são amplamente utilizados em viaturas blindadas, mecanizadas e motorizadas.

4.5.5 ENLACE POR RÁDIO UHF

4.5.5.1 O enlace por rádio UHF é utilizado para transmitir dados e voz por meio de ondas eletromagnéticas em frequência ultra alta.

4.5.5.2 As ondas rádio UHF têm frequência entre 300 MHz e 3 GHz; e são empregadas em diversas aplicações, como telecomunicações, radiodifusão, televisão e comunicações móveis.

4.5.5.3 As ondas rádio UHF são conhecidas como faixa de ondas decimétricas, com ondas variando de 10 a 100 cm de comprimento de onda (λ).

4.5.5.4 A propagação das ondas rádio UHF ocorre através do espaço livre e pode ser afetada por diversos fatores, entre eles a topografia, a densidade da atmosfera, a presença de obstáculos e a interferência de outras fontes de sinais eletromagnéticos.

4.5.5.5 A linha de visada (LoS) é um dos fatores mais importantes que afetam a propagação do sinal de rádio UHF. Ela deve estar livre de obstáculos para que a comunicação seja efetiva.

4.5.5.6 A taxa de transmissão de dados em enlace UHF pode ser significativamente maior em comparação com a VHF. Com a largura de banda e a modulação adequadas, é possível alcançar taxas médias de transmissão de até várias dezenas de Mbps. Em condições ideais e com sistemas mais avançados, taxas de até 100 Mbps podem ser alcançadas.

4.5.5.7 O rádio Harris SPR RF-7800S (Família Falcon III – 350,0000 MHz a 450 MHz), um dos rádios em UHF empregado na F Ter, possui taxa máxima de 256 kbps, com largura de banda configurada em 1,2 MHz.

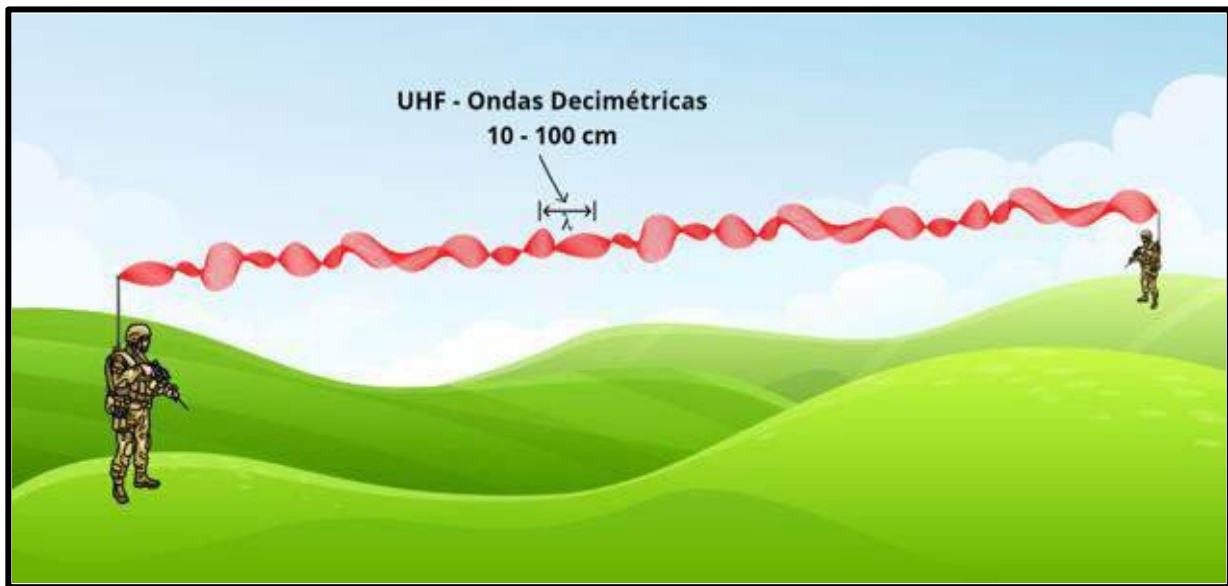


Fig 4-27 – Comunicações por rádio UHF

4.5.5.8 O rádio IMBEL TPP-1400 (Transceptor Portátil Pessoal 1400 - 350,0000 MHz a 450 MHz), outro rádio em UHF empregado na F Ter, também possui taxa máxima de 256 kbps, com largura de banda configurada em 1,2 MHz.

4.5.5.9 O rádio Harris RF-7800M (Família Falcon III - 30,0000 MHz a 1999,9950 MHz), rádio multibanda VHF e UHF, que também é empregado na F Ter, possui uma taxa máxima de até 10 Mbps na forma de onda ANW2C. Para isso, os rádios RF-7800M-M devem ter a versão de firmware de sistema 3.2.0 ou versões posteriores.

4.5.5.10 A interferência afeta a qualidade do sinal de rádio UHF, reduzindo sua potência e seu alcance. Além disso, a taxa de erros na transmissão de dados aumenta. Ela pode ser causada por outros sinais de rádio UHF ou por fontes de sinais eletromagnéticos próximos à antena transmissora ou receptora.

4.5.5.11 O alcance do sinal de rádio UHF depende de diversos fatores, como a potência do transmissor, a sensibilidade da antena receptora, a topografia, a presença de obstáculos e a densidade da atmosfera.

4.5.5.12 Em condições ideais, o alcance do sinal de rádio UHF pode chegar a alguns quilômetros.

4.5.5.13 No entanto, em ambientes urbanos ou com muitos obstáculos, o alcance pode ser limitado a algumas centenas de metros.

4.5.5.14 Para aumentar o alcance do sinal, é possível utilizar repetidores de rádio UHF, que retransmitem o sinal para áreas mais distantes.

4.5.5.15 Este tipo de sistema é amplamente utilizado nas pequenas frações, principalmente nos Grupos de Combate (GC). Os equipamentos baseados em sistemas UHF são considerados como ultraportáteis.

4.5.6 ENLACE POR RÁDIO MICRO-ONDAS

4.5.6.1 O sistema de comunicações por rádio micro-ondas é um tipo de comunicação sem fio que utiliza ondas eletromagnéticas de elevada frequência para transmitir dados entre dispositivos.

4.5.6.2 Essas ondas têm frequências entre 1 e 300 GHz e, devido à sua alta frequência, são capazes de transportar grandes quantidades de dados a longas distâncias. As micro-ondas podem variar de algumas dezenas de cm a 1 mm de comprimento de onda (λ).

4.5.6.3 A propagação das ondas rádio em micro-ondas é feita através de uma linha de visada direta (LoS) entre os dispositivos transmissor e receptor.

4.5.6.4 Isso significa que a transmissão do sinal é mais eficiente quando há uma linha de visada clara e desobstruída entre os dispositivos.

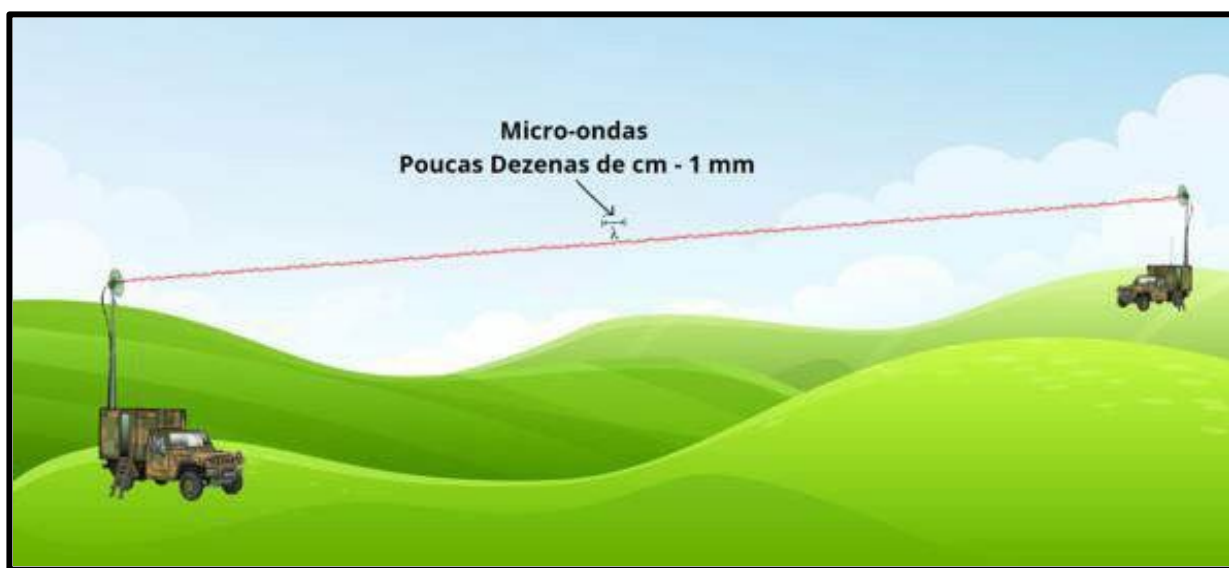


Fig 4-28 – Comunicações por rádio micro-ondas

4.5.6.5 Objetos como prédios, árvores e montanhas podem obstruir o sinal, tornando a comunicação mais difícil ou até impossível.

4.5.6.6 As taxas de transmissão de dados em enlaces de micro-ondas podem ser muito mais altas devido à largura de banda disponível e às frequências mais altas. As taxas médias de transmissão variam de centenas de Mbps a alguns Gbps (gigabits por segundo).

4.5.6.7 Em aplicações de *backhaul* e em comunicações ponto a ponto, taxas de transmissão de 10 ou mais Gbps são possíveis, especialmente em frequências mais altas, como as faixas de EHF (*Extremely High Frequency*, 30 GHz a 300 GHz).

4.5.6.8 As velocidades mais altas geralmente exigem mais largura de banda e equipamentos mais avançados.

4.5.6.9 O Rádio RF-7800W HCLOS (Família Falcon III – 4,400 GHz a 5,875 GHz), rádio em micro-ondas empregado na F Ter, possui taxa máxima de 216 Mbps, com largura de banda configurada em 40 MHz.

4.5.6.10 O uso de modulação digital também é comum em enlaces de micro-ondas, pois permite uma maior eficiência espectral e uma maior taxa de transmissão de dados.

4.5.6.11 Fatores de interferência, como outras fontes de sinal de rádio eletromagnético, também podem afetar a qualidade da comunicação.

4.5.6.12 É importante garantir que o enlace esteja operando em uma frequência que não seja afetada por interferência de outras fontes. Além disso, é necessário garantir que os dispositivos transmissores e receptores estejam adequadamente isolados para minimizar a interferência.

4.5.6.13 O alcance do sinal em enlace por rádio em micro-ondas é limitado pela distância e pelas obstruções presentes na linha de visada.

4.5.6.14 O alcance máximo pode ser aumentado utilizando torres de transmissão mais altas ou colocando os dispositivos transmissores e receptores em locais mais elevados.

4.5.6.15 Em geral, a distância máxima de transmissão em linha de visada é de cerca de 30 a 40 quilômetros, mas isso pode variar dependendo das condições do terreno e da potência do sinal.

4.5.6.16 Em condições ideais, a comunicação por micro-ondas pode ser usada para estabelecer *links* de longa distância, com alcances de centenas de quilômetros.

4.5.6.17 Esse tipo de sistema é amplamente utilizado para prover a comunicação entre os escalões Brigada, Divisão de Exército e Corpo de Exército, sendo disponibilizado nos NA e CN, além disso há as repetidoras existentes em tais sistemas

4.5.7 ENLACE RÁDIO DIGITAL TRONCALIZADO

4.5.7.1 O enlace rádio digital troncalizado é empregado no Sistema de Radiocomunicação Digital Troncalizado (SRDT).

4.5.7.1.1 É também chamado de enlace *trunking*. Ele é um enlace sem fio utilizado em larga escala em empresas, instituições governamentais, serviços de emergência, transporte público, forças militares e policiais, entre outros.

4.5.7.1.2 Ele é chamado de troncalizado por causa da forma como as informações são transmitidas entre os usuários e a central de controle, ou "tronco". Nesse enlace, várias conversas podem acontecer ao mesmo tempo e em diferentes canais de frequência, permitindo que múltiplos usuários compartilhem a mesma infraestrutura de comunicações.

4.5.7.1.3 Cada tronco e cada repetidora criam uma área de cobertura (célula) interconectada que é compartilhada entre os usuários. À medida que o usuário se desloca, os rádios se conectam de forma transparente ao usuário, de forma similar ao sistema celular existente.

4.5.7.2 O SRDT utilizado atualmente no Exército Brasileiro segue o padrão APCO-25 e o padrão TETRA.

4.5.7.2.1 APCO-25: Projeto 25, P25, ou APCO-25, é um padrão aberto de protocolo para produção de rádios digitais bidirecionais, vocacionado para emprego em serviços de emergência. Originalmente desenvolvido na América do Norte, pela Associação da Indústria das Telecomunicações (TIA), em parceria com outros representantes governamentais, o padrão P25 tem tido uma boa aceitação no mundo inteiro para ser utilizado em todos os setores, principalmente na segurança pública. Atualmente ele é utilizado por algumas polícias estaduais brasileiras (Polícia Militar de São Paulo) e por alguns órgãos governamentais (Ministério da Justiça).

4.5.7.2.2 TETRA: Rádio Terrestre Troncalizado é um padrão aberto global de rádio móvel terrestre (LMR) para a tecnologia de rádio digital troncalizado. O padrão foi desenvolvido por especialistas no setor de rádios bidirecionais e de segurança pública, em parceria com o Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações (ETSI), para garantir que os dispositivos TETRA portáteis/de mão, móveis/instalados em veículos e de base fixa, além da infraestrutura de rede, forneçam comunicações de voz e de dados seguras, confiáveis e instantâneas em ambientes empresariais e de missão crítica.

4.5.7.3 O Enlace Trunking é Composto pelos Seguintes Componentes

4.5.7.3.1 Estação principal (*master site*) – é o componente principal do enlace e abriga o controlador central, que é responsável por gerenciar todas as conexões de comunicação entre os usuários. Ele também pode abrigar outros componentes importantes, como repetidores de rádio e equipamentos de alimentação.

4.5.7.3.2 Estações secundárias (*slaves sites ou sites*) – são locais secundários que se conectam ao master site através de uma rede de comunicações. Eles geralmente abrigam repetidores de rádio que estendem a cobertura do SRDT para áreas distantes ou de difícil acesso.

4.5.7.3.3 Radiocomunicador – é um equipamento de rádio móvel utilizado pelos usuários para se comunicar com outros usuários ou com o controlador central. Os radiocomunicadores podem ser portáteis ou instalados em veículos (veiculares), permitindo a comunicação em movimento.

4.4.14.1.1 Infraestrutura de Comunicações – inclui torres de rádio, repetidores, cabos e equipamentos de alimentação que permitem a conexão dos componentes do enlace. Essa infraestrutura garante uma comunicação confiável e eficiente pelos usuários do SRDT.

4.5.7.3.4 O Enlace Trunking é uma tecnologia digital de processamento de sinal empregada para transmitir e receber informações de forma mais eficiente.

4.5.7.3.5 Quando um usuário fala no radiocomunicador, o sinal de áudio é digitalizado e transmitido para a estação principal. Essa processa o sinal de áudio e o distribui para os outros usuários na rede.

4.5.7.3.6 A transmissão é geralmente feita em uma frequência diferente da frequência de recepção para minimizar a interferência entre as transmissões. Quando um usuário não está falando, o radiocomunicador permanece silencioso para evitar interferências na rede.

4.5.7.3.7 Ao contrário dos enlaces convencionais de rádio, que utilizam canais dedicados, os enlaces *trunking* utilizam canais compartilhados, gerenciados por um controlador central.

4.5.7.3.8 O controlador monitora continuamente a rede e aloca canais para os usuários que precisem deles, conforme a demanda.

4.5.7.3.9 Esse enlace rádio também permite que vários grupos de usuários possam utilizar o mesmo canal do rádio, sem interferência de outras transmissões.

4.5.7.3.10 O enlace *Trunking* é usado em uma ampla variedade de setores, incluindo:

- a) transporte público – motoristas de ônibus, taxistas e outros profissionais de transporte utilizam o sistema de comunicação por rádio troncalizado para se comunicarem e para coordenarem o transporte de passageiros;
- b) serviços de emergência – policiais, bombeiros e paramédicos utilizam o enlace troncalizado para coordenarem as operações de emergência e para se comunicarem com seus colegas em campo; e
- c) empresas, FA e instituições governamentais – utilizam enlace troncalizado para se comunicarem internamente e coordenarem suas operações.

4.5.7.4 Vantagens do Enlace Rádio Digital Troncalizado

4.5.7.4.1 Uso eficiente do espectro: permite que vários usuários compartilhem um conjunto limitado de canais de rádio, economizando o espectro de frequência.

4.5.7.4.2 Maior capacidade: a alocação dinâmica de canais de rádio em um enlace *trunking* permite que mais usuários se comuniquem ao mesmo tempo do que em um enlace convencional de rádio.

4.5.7.4.3 Comunicações mais rápidas: pode alocar canais rapidamente e automaticamente, reduzindo o tempo necessário para configurar uma conexão de rádio. Da mesma maneira, é possível estabelecer redes rádio por meio de *software*, possibilitando a reorganização dos usuários conforme cada situação específica, sem a necessidade de reprogramação dos radiocomunicadores.

4.5.7.4.4 Maior segurança: os recursos avançados de segurança de um enlace *trunking*, como criptografia e controle de acesso, garantem que as comunicações permaneçam seguras e privadas e, ao mesmo tempo, permitem a auditoria posterior do sistema, possibilitando, por exemplo, a quantificação do tempo de uso ou, até mesmo,

quantas vezes foi pressionado o botão PTT por cada usuário. A separação de frequências de transmissão e recepção também dificulta a captura da comunicação entre os radiocomunicadores.

4.5.7.5 Desvantagens do Enlace Rádio Digital Troncalizado

4.5.7.5.1 Custos de implantação:

- Requer um investimento significativo em infraestrutura e equipamentos, o que pode ser um obstáculo para algumas empresas e organizações.

4.5.7.5.2 Complexidade:

- A configuração e operação do enlace *trunking*, via de regra, é mais complexa do que a de um enlace convencional de rádio.

4.5.7.5.3 Dependência de infraestrutura:

- Dependem de torres de transmissão e outros componentes de infraestrutura para funcionar, o que pode ser uma desvantagem em situações de ataques, desastres ou emergências, em que a infraestrutura pode ser danificada ou destruída.

4.5.7.5.4 Dependência de energia:

- Requerem energia elétrica confiável para funcionar, o que pode ser uma desvantagem em situações de emergência ou desastres naturais, em que a energia pode ser interrompida. Via de regra, essas estruturas são dotadas de sistemas de fornecimento de energia de emergência, utilizando baterias e geradores, aumentando o custo de implantação e manutenção conforme a autonomia desejada.

4.5.7.6 A versão transportável é amplamente utilizada no Sistema de Assinante Móvel (SAM), componente do SCA, no escalão Divisão de Exército (DE), podendo se estender até os Postos de Comando Principais das Grandes Unidades.

4.5.7.7 A versão fixa é amplamente utilizada nos principais centros urbanos, apoiando a segurança das instalações militares e as operações de Garantia da Lei e da Ordem (GLO).

4.5.8 ENLACE RÁDIO POR SATÉLITE

4.5.8.1 Considerações iniciais

4.5.8.1.1 O enlace rádio por satélite é uma forma de comunicação que utiliza satélites artificiais em órbita terrestre para enviar e receber sinais de rádio, permitindo a transmissão de informações em longas distâncias.

4.5.8.1.2 Esses enlaces são amplamente utilizados em todo o mundo para permitir a comunicação global, incluindo voz, dados, televisão, internet e outras formas de comunicação.

4.5.8.1.3 Existem dois tipos principais de enlaces rádio de comunicação por satélite: os de órbita geoestacionária e os de órbita não geoestacionária.

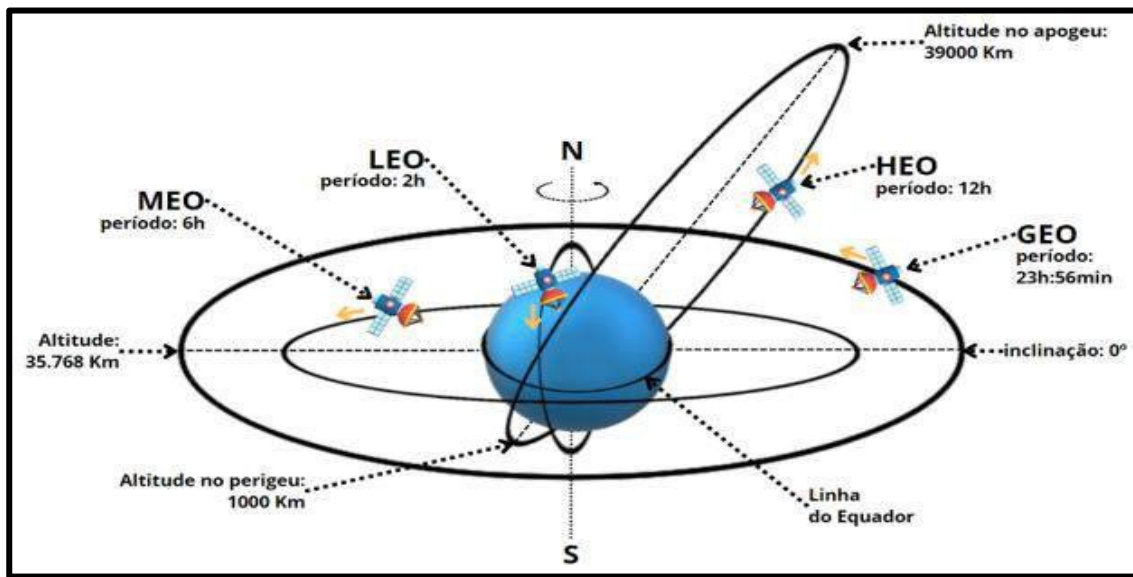


Fig 4-29 – Órbitas satelitais

4.5.8.2 Órbita Geoestacionária

4.5.8.2.1 GEO (Geosynchronous *Earth Orbit* - Órbita Terrestre Geossíncrona): esta é uma órbita circular equatorial que mantém o satélite em sincronia com a rotação da Terra, o que significa que o satélite permanece sempre em cima do mesmo ponto na superfície da Terra.

4.5.8.2.2 O período de revolução é de cerca de 23 horas e 56 minutos. Essa órbita é utilizada principalmente para satélites de comunicação e transmissão de televisão, pois oferece uma cobertura contínua de uma grande área geográfica, como um continente ou um oceano. Os satélites GEO geralmente orbitam a uma altitude média de cerca de 35.786 km, mas podem variar entre 35.400 km e 36.000 km.

4.5.8.3 Órbita Não Geoestacionária

4.5.8.3.1 LEO (Low Earth Orbit - Órbita Terrestre Baixa): essa é uma órbita circular de baixa altitude, tipicamente entre 500 e 1500 km acima da superfície da Terra. Os satélites LEO orbitam a Terra em cerca de 90 a 120 minutos, o que significa que eles podem fazer várias órbitas por dia. Essa órbita é utilizada pelos satélites de observação da Terra, como satélites meteorológicos e de monitoramento ambiental, bem como pelos satélites de comunicação de baixa latência, como telefone e internet. Devido à sua baixa altitude, os satélites LEO cobrem uma área relativamente pequena, o que significa que são necessários vários satélites para fornecer cobertura global contínua.

4.5.8.3.2 MEO (Medium Earth Orbit - Órbita Terrestre Média): essa é uma órbita circular de altitude média, tipicamente cerca de 10.400 km acima da superfície da Terra. Os satélites MEO têm um período de revolução de cerca de 6 horas. Essa órbita é utilizada principalmente para sistemas de navegação por satélite, como o sistema GPS, que requer um conjunto de satélites para fornecer cobertura global precisa.

4.5.8.3.3 HEO (Highly Elliptical Orbit - Órbita Altamente Elíptica): essa é uma órbita fortemente elíptica utilizada principalmente por satélites de comunicação e transmissão de televisão, bem como por satélites de monitoramento ambiental. Os satélites HEO orbitam a uma altitude máxima de cerca de 39.000 km acima da superfície da Terra e podem ter um período de revolução de até vinte e quatro horas. Devido à sua órbita elíptica, os satélites HEO passam a maior parte do tempo em seu ponto mais alto, permitindo que forneçam cobertura a áreas mais ao norte ou ao sul do Equador, onde os satélites GEO não oferecem cobertura.

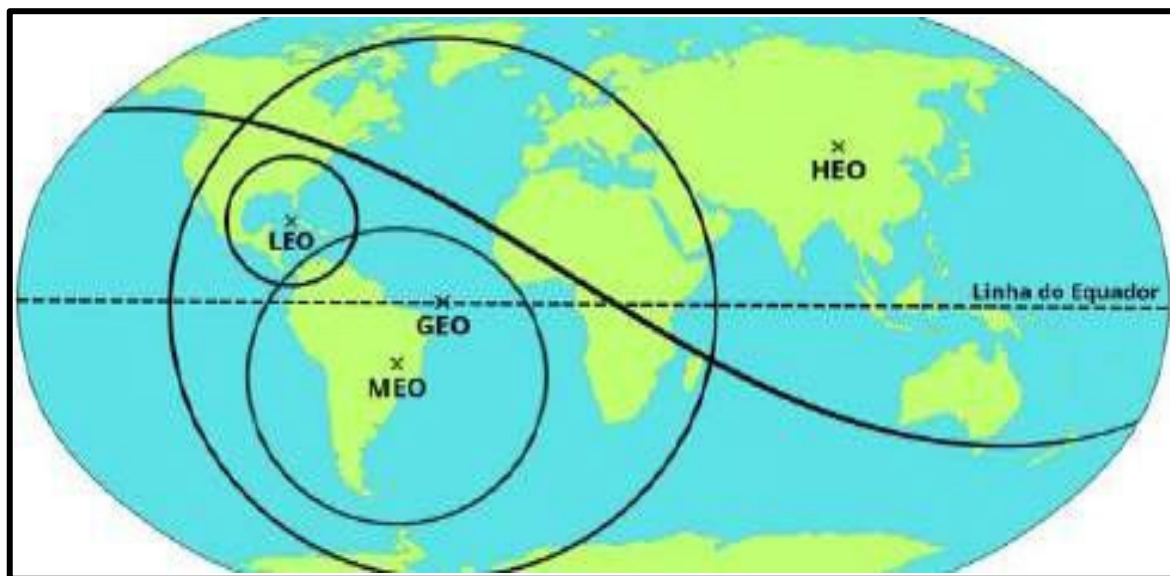


Fig 4-30 – cobertura satelital de acordo com a órbita

4.5.8.4 Os sistemas de comunicações baseados em satélites podem oferecer diversos serviços como:

- comunicações de longa distância,
- acesso à internet em áreas remotas,
- transmissão de televisão e rádio,
- comunicações militares e
- navegação por satélite.

4.5.8.5 Os enlaces satelitais utilizam diferentes frequências de rádio para a transmissão de sinais. As faixas de frequências, também chamadas de bandas, variam de acordo com o tipo de serviço oferecido e da localização do satélite.

4.5.8.6 Algumas das frequências comumente utilizadas são:

- a) Banda L (1-2 GHz) – transmissão de televisão e telefonia;
- b) Banda S (2-4 GHz) – comunicações militares e de navegação;
- c) Banda C (4-8 GHz) – comunicações militares e de navegação;
- d) Banda X (8-12 GHz) – observação da Terra e de comunicações militares;
- e) Banda Ku (12-18 GHz) – televisão e internet via satélite;
- f) Banda K (18-27 GHz) – rádio amadores e sistemas de radar; e
- g) Banda Ka (18-40 GHz) – internet via satélite.

4.5.8.7 Os enlaces rádio satelitais utilizam sinais de subida (*uplink*) e descida (*downlink*) para enviar e receber informações.

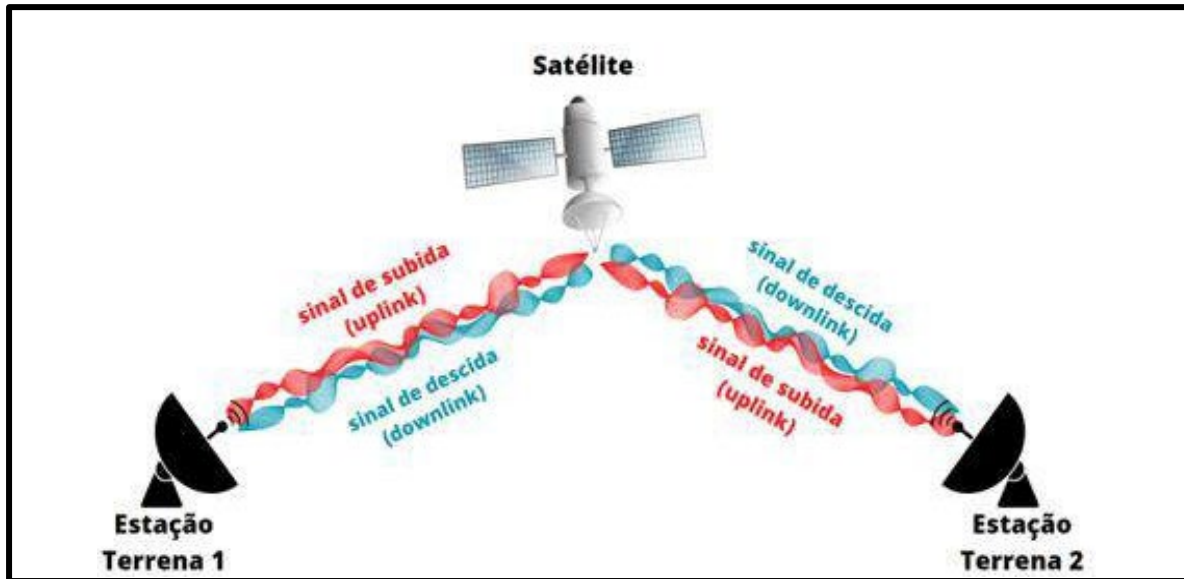


Fig 4-31 – Comunicações por satélite

4.5.8.7.1 O sinal de subida é o sinal que é enviado da estação terrestre para o satélite, enquanto o sinal de descida é o sinal enviado do satélite para a estação terrestre.

4.5.8.7.2 Esses sinais são transmitidos em frequências diferentes para evitar interferências.

4.5.8.8 Os principais componentes de um enlace rádio satelital incluem:

- a) satélite – o dispositivo que é colocado em órbita para transmitir e receber sinais de rádio;
- b) estação terrestre – o local onde o sinal é transmitido ou recebido;
- c) antena – são utilizadas para enviar e receber sinais entre a estação terrestre e o satélite;
- d) transponder – um dispositivo a bordo do satélite que recebe sinais de subida e os retransmite em uma frequência diferente para a estação terrestre; e
- e) painel solar – utilizado para fornecer energia ao satélite.

4.5.8.9 As vantagens do enlace rádio por satélite são:

- a) conexão global – possibilita a comunicação em todo o mundo, inclusive em áreas remotas sem cobertura de rede terrestre;
- b) cobertura ampla – pode fornecer cobertura em áreas onde a cobertura terrestre não é possível ou impraticável;
- c) flexibilidade – pode ser rapidamente instalado e implantado em novas áreas; e
- d) confiabilidade – fornece uma comunicação mais confiável e segura em comparação com outras tecnologias de comunicação.

4.5.8.10 As desvantagens do enlace rádio por satélite são:

- a) custo – os satélites e a infraestrutura necessária para os enlaces de comunicação por satélite são caros;
- b) atraso – a distância entre a Terra e o satélite pode resultar em atrasos na transmissão de dados, o que pode afetar a qualidade da comunicação;
- c) conexão instável – condições meteorológicas adversas como tempestades, bem como explosões solares, podem afetar a qualidade da conexão;
- d) restrições regulatórias – o uso de enlaces de comunicação por satélite pode estar sujeito à regulamentação governamental e às restrições, como licenças e taxas; e
- e) vulnerabilidade – os satélites podem ser vulneráveis a ameaças, como ataques cibernéticos ou colisões com detritos espaciais.

4.5.8.11 Os sinais de rádio transmitidos por satélites são enviados através do espaço até chegar à estação terrestre.

- No entanto, o sinal de rádio pode se degradar ou enfraquecer ao passar pelo espaço e pela atmosfera terrestre, o que pode afetar a qualidade da conexão.

4.5.8.12 Para superar esses problemas, os satélites geralmente usam amplificadores de sinal, para aumentar a força do sinal, e antenas direcionais, para apontar o sinal para a estação terrestre.

4.5.8.13 Os enlaces rádio satelitais são utilizados, prioritariamente, nos NA e CN, servindo como canais alternativos para interligar os escalões Brigada, Divisão de Exército e Corpo de Exército.

4.5.8.14 O Exército Brasileiro utiliza o Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações (SGDC), que opera em órbita geoestacionária, para prover as comunicações militares em Banda X em todo o território nacional.

4.5.9 ENLACE POR FIBRA ÓPTICA

4.5.9.1 O enlace por fibra óptica é uma tecnologia que utiliza cabos de fibras ópticas para transmitir sinais de comunicação, tais como voz, dados e vídeo.

- Esse tipo de comunicação funciona através da propagação da luz em um cabo de fibra óptica, que é composto de um núcleo de vidro ultrafino, revestido por uma camada de material que possui um índice de refração menor que o do núcleo, chamado de casca ou *cladding*.

4.5.9.2 Existem dois tipos principais de fibra óptica: a monomodo e a multimodo.

4.5.9.2.1 A fibra óptica monomodo é utilizada em longas distâncias, pois possui um diâmetro de núcleo menor e apresenta menor dispersão do sinal, permitindo assim uma maior taxa de transmissão.

4.5.9.2.2 Isso ocorre porque a luz se propaga em um único modo, ou seja, em um único feixe de luz que é guiado pela fibra.

4.5.9.2.3 Dessa forma, não acontece a mistura de feixes que pode ocorrer na fibra óptica multimodo, o que pode limitar a largura de banda e a distância de transmissão.

4.5.9.2.4 Já a fibra óptica multimodo é utilizada em distâncias menores, sendo adequada para redes locais, por exemplo, pois possui um diâmetro de núcleo maior e um índice de refração menor.

4.5.9.2.5 A luz se propaga em vários modos, ou seja, em vários feixes de luz que são guiados pela fibra.

4.5.9.2.6 Isso permite que uma grande quantidade de luz seja transmitida através da fibra, o que pode aumentar a largura de banda, mas também pode limitar a distância de transmissão e causar a dispersão do sinal.

4.5.9.3 Os componentes do enlace de comunicações por fibra óptica incluem:

- a) transmissor (OLT - *Optical Line Terminal*) – é responsável por converter o sinal elétrico em um sinal óptico que é transmitido pela fibra óptica;
- b) receptor (*Optical Network Unit* - ONU ou *Optical Network Terminal* - ONT) – recebe o sinal óptico e o converte de volta para um sinal elétrico que pode ser processado pelos equipamentos de rede;
- c) cabos de fibra óptica (*Optical Fiber* - OF) – são o meio de transmissão que carrega o sinal de um ponto para outro;
- d) conector – é utilizado para conectar os cabos de fibra óptica e os equipamentos de rede; e
- e) amplificador – é usado para amplificar o sinal em longas distâncias.

4.5.9.4 Além desses componentes, existem também outros dispositivos que podem ser utilizados em um enlace de comunicações por fibra óptica, como:

- a) acoplador (*Coupler* – CPL) – é utilizado para combinar ou separar sinais de diferentes fontes em uma única fibra óptica;
- b) divisor (*Splitter* – SPL) – é utilizado para dividir um sinal em vários caminhos, permitindo que ele seja transmitido para vários destinos; e
- c) comutador (*Swiches* – SW) – é utilizado para conectar diferentes fibras ópticas e direcionar os sinais para diferentes destinos.

4.5.9.5 A propagação da onda na fibra óptica ocorre através de reflexões internas totais, ou seja, a luz que entra na fibra óptica é refletida continuamente no interior da fibra e se move ao longo do cabo em um trajeto em forma de “zig-zag”, sem escapar para o exterior.

- Essa propriedade é o que permite à fibra óptica transmitir informações por grandes distâncias com perdas irrelevantes de sinal.

4.5.9.6 A taxa de transmissão de dados por fibra óptica é muito alta, podendo chegar a centenas de Gbps (gigabits por segundo) ou até Tbps (terabits por segundo), dependendo da tecnologia utilizada.

- Isso é possível porque a fibra óptica permite a transmissão de sinais de luz em

diversas frequências e comprimentos de onda, o que possibilita a transmissão simultânea de muitos canais de informação em uma única fibra.

4.5.9.7 Os fatores de interferência que podem afetar a transmissão por fibra óptica incluem a atenuação do sinal e o ruído. Esta transmissão é imune à interferência eletromagnética. A atenuação é a perda de sinal ao longo do cabo devido à absorção, dispersão ou reflexão da luz na fibra.

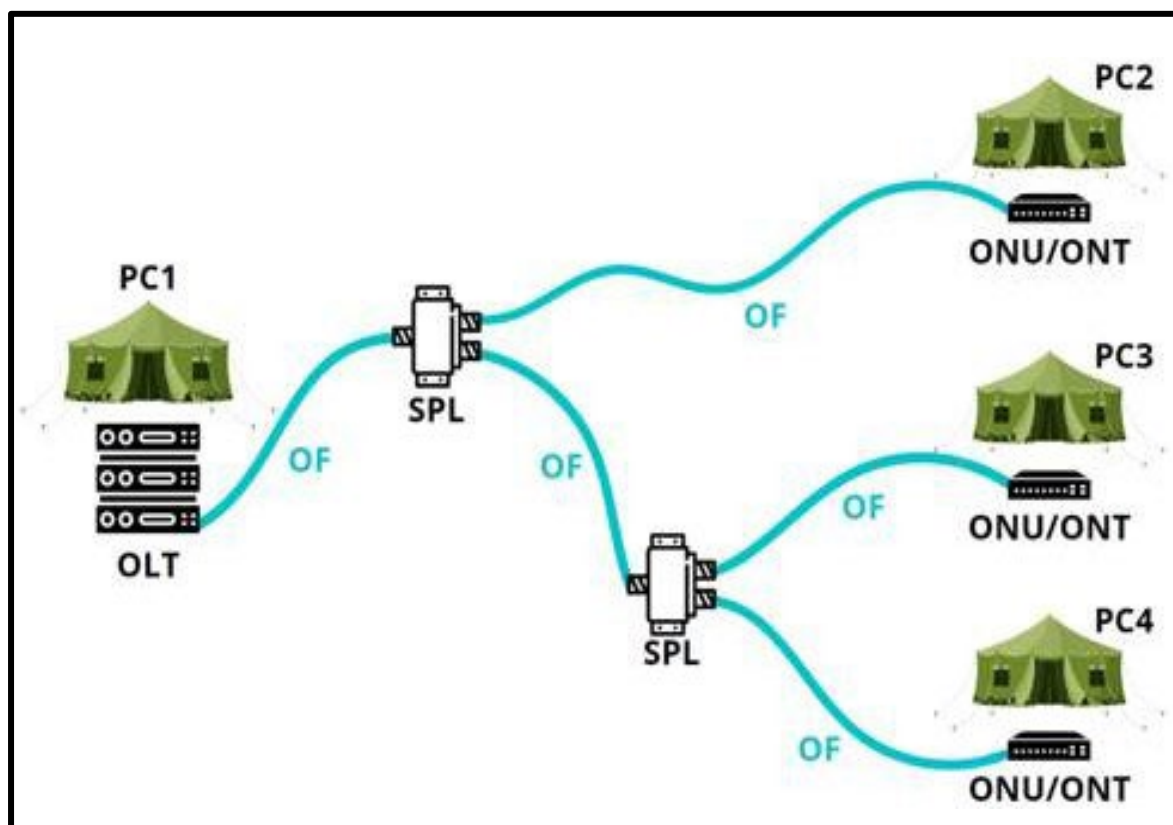


Fig 4-32 – Comunicações por fibra óptica

4.5.9.8 O ruído é causado por fontes externas de luz que interferem na propagação do sinal. A interferência eletromagnética pode ser causada por campos elétricos e magnéticos gerados por equipamentos eletrônicos ou outras fontes, porém, os sinais de luz confinados na fibra ficam isolados desses campos externos, o que garante sua imunidade a essa interferência.

4.5.9.9 O alcance do sinal em um enlace de comunicações por fibra óptica pode variar dependendo de vários fatores, como a potência do sinal, a qualidade da fibra óptica, o tipo de transmissão (unidirecional ou bidirecional), a sensibilidade do receptor, a largura de banda e a taxa de transmissão de dados.

4.5.9.10 Em geral, as fibras ópticas podem transmitir sinais a distâncias muito grandes, que podem variar de algumas dezenas de metros até vários quilômetros.

4.5.9.11 A principal desvantagem é o reparo quando do seu rompimento, pois exige pessoal e material especializados.

4.5.9.12 Os enlaces por fibra óptica são utilizados principalmente para ligações de curta distância, como em áreas de Postos de Comando, bem como para conexão com recursos locais fixos, utilizando os NA e CN como um ponto de conexão em malhas de fibra óptica previamente existentes.

4.5.10 ENLACE POR TELEGRAFIA

4.5.10.1 A telegrafia foi um dos primeiros métodos de comunicação eletrônica de longa distância.

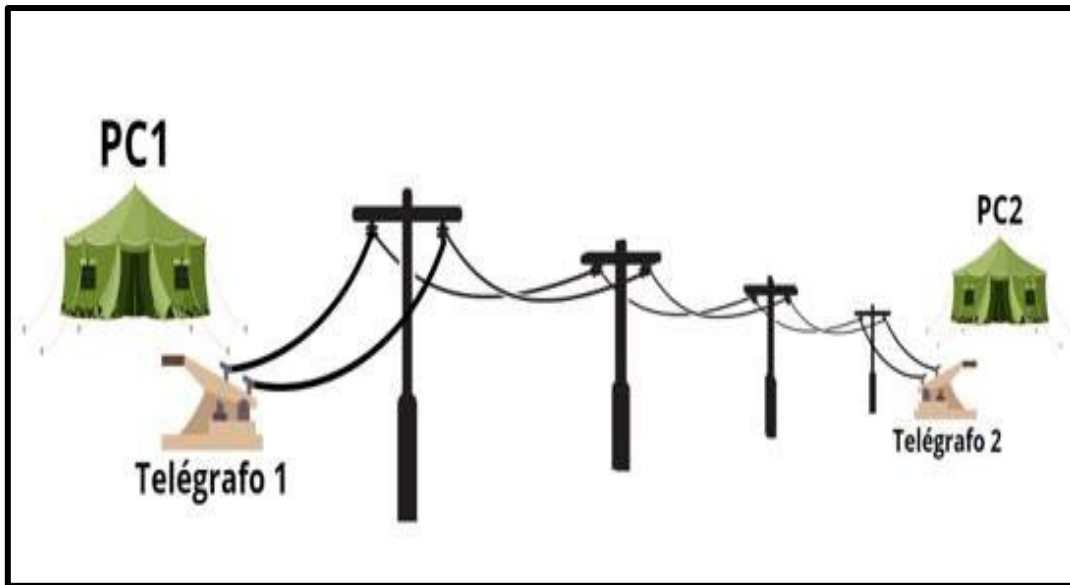


Fig 4-33 – Comunicações por telegrafia elétrica de fio condutor

4.5.10.2 Ele permitia que mensagens fossem enviadas de um lugar para outro por meio de um cabo de cobre isolado. O funcionamento desse enlace envolve uma série de componentes, tais como transmissor, receptor e fios de cobre.

4.5.10.3 O enlace de telegrafia baseia-se no envio de sinais elétricos codificados (código Morse) para representar caracteres alfanuméricos por meio de fios ou cabos.

4.5.10.4 O transmissor consiste em uma chave que é acionada pelo operador para produzir pulsos elétricos que são enviados através do cabo.

4.5.10.5 O receptor, por sua vez, consiste em um eletroímã que é ativado pelos pulsos elétricos, produzindo uma vibração sonora que é amplificada e decodificada pelo operador.

4.5.10.6 A telegrafia utiliza as linhas de transmissão de par de fios de cobre como meio de transmissão.

4.5.10.7 Essa forma de propagação é conhecida como transmissão em linha. O cabo age como uma linha de transmissão (LT), que guia a onda eletromagnética entre dois telégrafos.

4.5.10.8 A taxa de transmissão de dados na telegrafia é bastante baixa, pois os sinais

são transmitidos como código Morse, que consiste em combinações de pontos e traços. A velocidade de transmissão depende da habilidade do operador, mas geralmente não ultrapassa 30 (trinta) palavras por minuto.

4.5.10.9 Entre os fatores de interferência que podem afetar a qualidade do sinal estão a distância entre os pontos de transmissão e recepção, a qualidade dos fios de cobre, a presença de outras fontes de sinal elétrico próximas ao cabo, como linhas de alta tensão, e a presença de ruído elétrico no enlace.

4.5.10.10 O alcance do sinal na telegrafia depende da distância entre os pontos de transmissão e recepção e da qualidade dos fios de cobre. Em geral, a qualidade do sinal diminui à medida que a distância aumenta. Para superar essa limitação, os cabos de cobre podem ser estendidos por longas distâncias por meio de repetidores, que amplificam o sinal elétrico a intervalos regulares ao longo do cabo.

4.5.11 ENLACE POR RADIOTELEGRAFIA

4.5.11.1 O enlace por radiotelegrafia é um dos mais antigos métodos de comunicação de longa distância. Ele utiliza ondas eletromagnéticas para transmitir sinais de texto ou códigos em formato de código Morse. O sistema é composto por três principais componentes: o transmissor, o meio de transmissão e o receptor.

4.5.11.2 O transmissor é responsável por gerar um sinal elétrico que é modulado para produzir uma onda de rádio que é transmitida através do meio de transmissão. O meio de transmissão é o espaço livre entre o transmissor e o receptor, no qual a onda se propaga. O receptor é o dispositivo que recebe o sinal e o decodifica em texto ou código.

4.5.11.3 A propagação da onda de telegrafia é baseada nas propriedades da onda eletromagnética. A onda é produzida a partir de uma oscilação elétrica no transmissor, que cria uma perturbação no campo elétrico e magnético ao seu redor. Essa perturbação viaja pelo meio de transmissão em forma de uma onda eletromagnética.

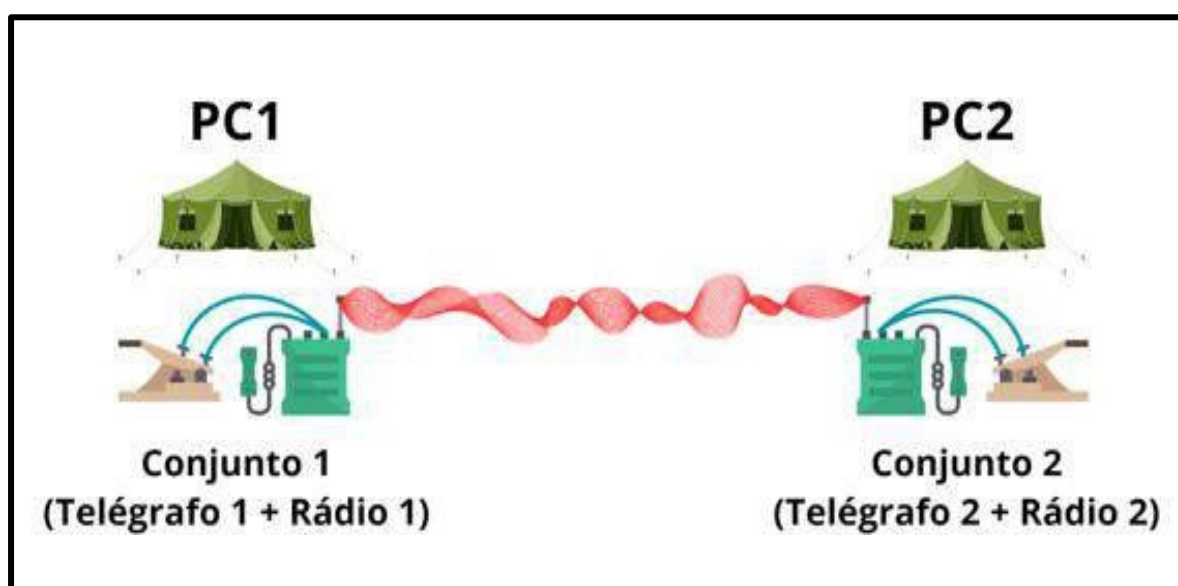


Fig 4-34 – Comunicações por radiotelegrafia

4.5.11.4 A taxa de transmissão de dados na radiotelegrafia é relativamente baixa, pois os sinais são transmitidos como código Morse. A velocidade de transmissão depende da habilidade do operador, mas geralmente não ultrapassa 30 palavras por minuto.

4.5.11.5 A distância que um sinal de radiotelegrafia pode percorrer depende de vários fatores, incluindo a potência do sinal, a frequência utilizada e as condições atmosféricas. A interferência também pode afetar o alcance do sinal. Por exemplo, a presença de outras ondas rádio próximas pode causar interferência, dificultando a recepção do sinal de radiotelegrafia.

4.5.12 ENLACE POR *BROADCASTING*

4.5.12.1 O enlace por *broadcasting* é uma forma de transmissão de informações, como áudio, vídeo e dados, que envia um sinal a muitos receptores simultaneamente.

4.5.12.2 O termo "*broadcasting*" é frequentemente utilizado para descrever a radiodifusão de rádio e televisão, mas o conceito também se aplica a outros tipos de transmissões, como as por satélite, por cabo e por internet.

4.5.12.3 Existem dois tipos principais de enlaces de *broadcasting*: analógico e digital.

4.5.12.3.1 O sistema analógico é baseado em ondas rádio ou televisão, que são transmitidas em uma determinada frequência e amplitude, utilizando esquemas de modulação analógicos, captados pelos receptores que estão sintonizados na mesma frequência.

4.5.12.3.2 Já o sistema digital utiliza esquemas de modulação digitais. Ele também pode implementar transmissão de dados em pacotes entre os transmissores e os receptores.

4.5.12.4 Os componentes principais de um enlace *broadcasting* incluem o transmissor, que é responsável por gerar o sinal e transmiti-lo na frequência correta, a antena de transmissão, que é responsável por radiar o sinal para o espaço, e o receptor, que é responsável por captar o sinal e decodificá-lo para que seja entendido pelo usuário final.

4.5.12.5 O alcance do sinal de *broadcasting* varia de acordo com a potência do transmissor, a altura da antena e as condições do terreno. Em geral, o alcance de um sinal de rádio FM é de algumas dezenas de quilômetros, enquanto o alcance de um sinal de um rádio AM pode ser de até centenas de quilômetros. Já o alcance de um satélite de *broadcasting* pode ser global, desde que haja uma linha de visada direta entre o satélite e o receptor.

4.5.12.6 A abrangência do *broadcasting* é determinada pelo número de receptores que podem ser atingidos pelo sinal. Em geral, esse número pode variar de algumas centenas de milhares a milhões de usuários, dependendo da potência do transmissor e da área geográfica abrangida.

4.5.12.7 Alguns enlaces de *broadcasting*, como as redes de televisão, possuem uma cobertura regional ou nacional, enquanto outros, como os de alerta público, possuem

uma cobertura mais limitada, focando em uma área específica.

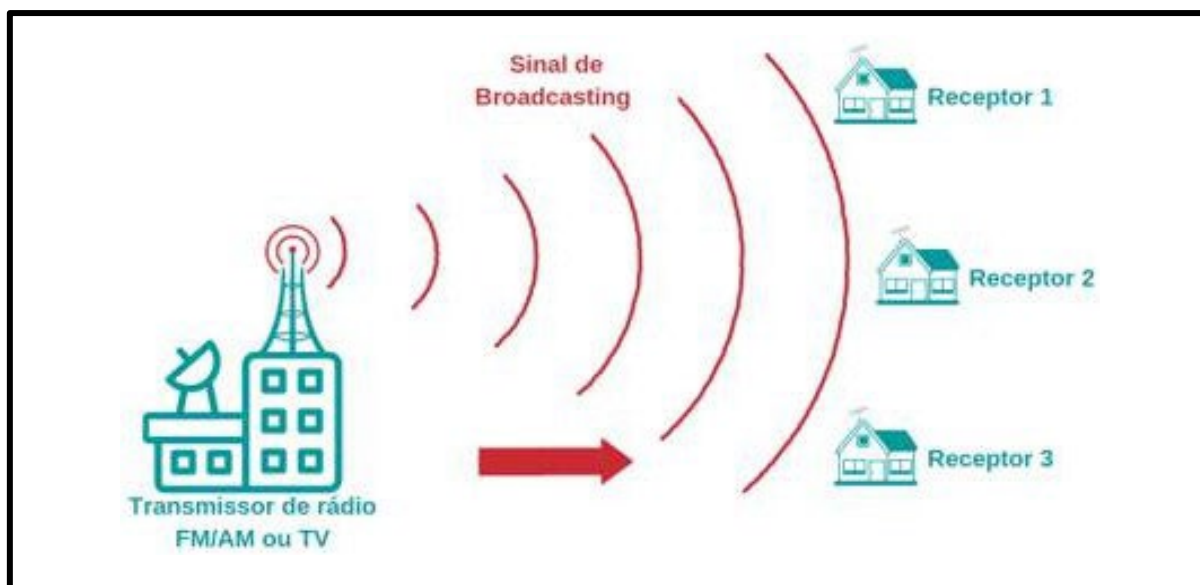


Fig 4-35 – Comunicações por broadcasting

4.5.13 ENLACE POR RADIOAMADORISMO

4.5.13.1 O enlace radioamador é uma forma de comunicação que permite a troca de informações entre radioamadores. Essa rede é composta por estações de rádio que utilizam frequências para transmitir e receber sinais de voz, dados ou outras informações.



Fig 4-36 – Comunicações por radioamador

4.5.13.2 A finalidade do radioamadorismo é permitir a comunicação entre operadores de radioamador, seja para fins de lazer, experimentação técnica, apoio a emergências ou para o desenvolvimento da tecnologia de comunicações.

4.5.13.3 A abrangência desse enlace pode variar desde um alcance local, que cobre uma pequena área geográfica, até um alcance global, permitindo a comunicação entre operadores em diferentes países. A cobertura e o alcance dependem do tipo de frequência utilizada, da potência do transmissor e das condições atmosféricas.

4.5.13.4 Os tipos de comunicações por radioamador incluem a comunicação de voz, radiotelegrafia, transmissão de dados, imagem e vídeo.

4.5.13.5 Os operadores também podem utilizar diferentes esquemas de modulação, como FM, SSB⁷, CW⁸, digital e outros.

4.5.13.6 A composição do radioamadorismo inclui os radioamadores, as estações de radioamador, as frequências de rádio alocadas para uso dos radioamadores e as regulamentações governamentais que definem as regras de operação das estações e a atribuição de frequências.

4.5.13.7 O enlace é operado e gerenciado por organizações de radioamadores em cada país, que trabalham em conjunto com as autoridades governamentais para garantir a segurança e eficiência do radioamadorismo.

4.5.14 ENLACE POR MENSAGEIRO

4.5.14.1 É um método de transmissão de informações que utiliza mensageiros que levam informações escritas ou verbais de um ponto a outro. Essa forma de enlace tem sido usada há milhares de anos em diferentes épocas e culturas, mas ainda é uma parte importante da comunicação militar atual.

4.5.14.2 A finalidade principal do enlace de comunicações por mensageiro é permitir a transmissão de informações críticas de uma unidade militar para outra, quando outras formas de comunicação podem estar indisponíveis ou comprometidas.

4.5.14.3 Por exemplo, em um ambiente de combate, as linhas de comunicação por rádio ou telefone podem ser cortadas, mas os mensageiros ainda podem se mover rapidamente pelo campo de batalha para entregar mensagens importantes.

4.5.14.4 O alcance do mensageiro depende da capacidade de se mover rapidamente de um ponto a outro.

4.5.14.5 Em condições ideais, ele pode cobrir uma distância de várias dezenas de quilômetros em um único dia, dependendo do terreno, do clima e de outras condições. No entanto, em situações de combate, o alcance pode ser limitado pelas ameaças, como inimigos em patrulha ou minas terrestres.

⁷ SSB - *Single Side Band* – tipo de modulação

⁸ CW – *Continuous Wave* – Código Morse



Fig 4-37 – Mensageiro conduzindo a mensagem até o destinatário

4.5.14.6 Existem diferentes tipos de mensageiros que podem ser usados. Por exemplo, podem ser empregados soldados ou civis treinados, a pé ou motorizados (preferencialmente utilizando motocicletas), animais, como pombos-correios (utilizados até a 2ª Guerra Mundial) ou cães de guerra, drones ou robôs em situações mais atuais. Cada tipo de mensageiro tem suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo das condições em que são empregados.

4.5.14.7 Em resumo, o mensageiro continua a ser uma parte importante da comunicação militar atual, permitindo a transmissão de informações críticas quando outras formas de comunicação podem estar indisponíveis.

4.5.14.8 É necessário prever as questões de segurança em relação à mensagem, evitando, assim, que o próprio mensageiro tenha conhecimento do conteúdo, a depender do grau de sigilo imposto.

4.5.14.9 É importante também prever as medidas necessárias para a rápida destruição/inutilização da mensagem, quando da eventual captura do mensageiro durante seu deslocamento.

4.5.15 ENLACE VISUAL

4.5.15.1 O enlace por meios visuais, também conhecido como "sinalização visual", é um método de comunicação que utiliza sinais visuais para transmitir informações.

4.5.15.2 A finalidade principal desse enlace é permitir a transmissão de mensagens em ambientes onde as comunicações de voz ou rádio são limitadas, inseguras ou ineficazes.



Fig 4-38 – Fiscal de pátio de aeroporto sinalizando ao piloto do avião que a pista está liberada para movimentação da aeronave

4.5.15.3 Existem vários tipos de sinalização visual que podem ser utilizados. Alguns exemplos incluem:

4.5.15.3.1 Sinais por gestos convencionados

- São formas de comunicação não verbal que são acordadas e compreendidas por um grupo de pessoas. Eles são geralmente utilizados para transmitir informações em situações em que a comunicação verbal é difícil ou impossível.
- Os sinais convencionados podem incluir gestos, expressões faciais, posturas corporais, bem como sinais específicos de um sistema de sinalização, como sinais de trânsito, sinais de libras para a comunicação com pessoas com deficiência auditiva, sinais de manobra de aeronave em solo, entre outros.

4.5.15.3.2 Sinais de fumaça

- Esses sinais são produzidos pela queima de material combustível para criar uma nuvem de fumaça que pode ser vista a longa distância. Diferentes cores de fumaça podem ser usadas para transmitir diferentes mensagens.

4.5.15.3.3 Sinais com bandeiras

- Os sinais com bandeiras são usados para transmitir mensagens a longa distância através do uso de bandeiras coloridas.
- As bandeiras podem ser agitadas ou colocadas em posições específicas para transmitir mensagens codificadas.

4.5.15.3.4 Sinais com luzes

- Sinais com luzes podem ser usados para transmitir mensagens à noite ou em ambientes escuros.
- As luzes podem ser piscadas em padrões específicos para transmitir mensagens codificadas.

4.5.15.3.5 Sinais com espelhos

– Os sinais com espelhos são usados para refletir a luz solar para transmitir mensagens a longa distância. Os espelhos são geralmente de pequeno porte e podem ser operados individualmente.

4.5.15.3.6 Sinais com pistolas de sinalização

– As pistolas de sinalização disparam cartuchos de sinalização que produzem um som alto e uma fumaça visível, geralmente colorida, para transmitir mensagens a longa distância.

4.5.15.3.7 Sinais com lasers

– Os sinais com lasers são usados para transmitir mensagens a longa distância durante o dia ou à noite. Os lasers podem ser direcionados para um alvo específico para transmitir mensagens codificadas.

4.5.15.3.8 Sinais com painéis

– Os sinais com painéis são utilizados para ligações terra-avião, facilitando a sinalização de locais de pouso e a comunicação visual com os meios aéreos.

4.5.16 ENLACE ACÚSTICO

4.5.16.1 A comunicação por meios acústicos envolve o uso de ondas sonoras para transmitir informações. Esse tipo de comunicação pode ser realizado de forma oral, por meio de palavras e comandos específicos, ou por meio de sinais sonoros codificados.



Fig 4-39 – Comunicação por tambor utilizada por tribos africanas para informar a chegada de europeus em seus territórios durante a colonização europeia da África (século XIX)

4.5.16.2 Exemplos de enlaces de comunicações por meios acústicos incluem a

comunicação por tambores utilizada pelos povos africanos, a comunicação por corneta utilizada por militares para indicação de voltas e marchas e a comunicação por sirene para aviso de bombardeiros durante a Segunda Guerra Mundial. Hoje em dia, esses enlaces são menos comuns, já que as forças militares geralmente utilizam tecnologia mais avançada para se comunicar em campo de batalha.

4.5.16.3 Os tipos de comunicação acústica incluem:

4.5.16.3.1 Voz

- O uso da voz é o método mais comum de comunicação acústica. Envolve o uso da voz humana para transmitir informações e ideias entre duas ou mais pessoas. A comunicação por voz pode ser realizada em diferentes formas, como em conversas informais, reuniões de trabalho, apresentações, palestras, discursos, entre outros; e

4.5.16.3.2 Sinais sonoros

- Esses sinais podem incluir sons produzidos por apitos, sirenes, tambores, clarim, corneta e outros instrumentos musicais, e podem ser usados para transmitir informações codificadas. Eles podem ser curtos ou longos, altos ou baixos, agudos ou graves, e variam em frequência e intensidade.

4.5.17 ENLACE PELA INTERNET

4.5.17.1 O enlace de comunicações via Internet é um conjunto de tecnologias que permite a transmissão de informações e dados através de uma rede global de computadores interconectados. A finalidade principal é permitir a troca de informações entre usuários localizados em diferentes partes do mundo de forma rápida e eficiente.



Fig 4-40 – Mundo Interconectado pela Internet permitindo a comunicação global entre pessoas com elevada rapidez e eficiência

4.5.17.2 Esse sistema possibilita diversos tipos de comunicação, como:

- a) E-mail – é um dos tipos mais populares de comunicação na Internet. O e-mail permite que as pessoas troquem mensagens de texto, imagens e arquivos anexados de forma assíncrona, ou seja, sem a necessidade de ambas as partes estarem conectadas ao mesmo tempo;
- b) Chat – são sistemas de bate-papo em tempo real que permitem que os usuários conversem de forma síncrona. Alguns exemplos de chats populares na atualidade incluem o *WhatsApp*, *Facebook Messenger* e *Telegram*;
- c) VoIP – é uma tecnologia que permite fazer chamadas de voz pela Internet. Os exemplos mais comuns na atualidade são o *WhatsApp*, *Skype* e o *Zoom*;
- d) Videoconferência – é uma forma de comunicação que permite que as pessoas se vejam e conversem em tempo real. É amplamente utilizado em reuniões de trabalho, aulas online e conferências. Alguns exemplos de ferramentas de videoconferência na atualidade incluem o *Zoom*, *Google Meet* e *Microsoft Teams*;
- e) Redes sociais – são plataformas online que permitem que os usuários criem e compartilhem conteúdo, além de se conectarem com outras pessoas. Exemplos populares na atualidade incluem o *Facebook*, *Twitter*, *Instagram* e *LinkedIn*; e
- f) Compartilhamento de arquivos – permite o envio e o recebimento de arquivos de qualquer tipo e tamanho. O *Google Drive*, o *OneDrive* e o *Dropbox* são exemplos populares.

4.5.17.3 O enlace via Internet tem uma ampla gama de usos, incluindo comunicação pessoal, trabalho em equipe, educação a distância, comércio eletrônico e entretenimento. Além disso, essa tecnologia permite que as empresas reduzam custos, aumentem a produtividade e melhorem a eficiência de suas operações, uma vez que é possível se comunicar com pessoas em diferentes locais do mundo em tempo real, sem a necessidade de deslocamento.

MT 3.11-550

CAPÍTULO V

CANAL DE COMUNICAÇÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.1.1 O canal de comunicações é o condutor físico ou o caminho lógico pelo qual as informações são transmitidas de um ponto a outro. Essa condução pode ser física (como um cabo de fibra óptica), sem fio (como espaço livre) ou até mesmo comportamental (como a linguagem corporal e as expressões faciais).

5.1.2 Em geral, um canal de comunicações envolve a codificação das informações em um formato que possa ser transmitido através do condutor físico escolhido; a transmissão das informações através desse condutor; e a decodificação das informações de volta em um formato utilizável pelo receptor.

5.2 CANAL RÁDIO

5.2.1 O espaço livre é o condutor físico ou o caminho no qual as ondas eletromagnéticas do espectro rádio são transmitidas. Comumente, chama-se de canal rádio as faixas de frequências utilizáveis dos equipamentos rádio, separadas por largura de banda. No entanto, todas as ondas de rádio são transmitidas pelo espaço livre.



Fig 5-1 – Representação da comunicação rádio no espaço livre

5.2.2 Os canais de rádio podem ser usados para transmitir uma ampla variedade de informações, como voz, música, dados, imagens e vídeo, e são amplamente utilizados em tecnologias de comunicação, como telefonia móvel, rádio e televisão, comunicações de emergência, aviação e sistemas de navegação.

5.2.3 A qualidade do canal de rádio pode ser afetada por fatores como a distância entre o transmissor e o receptor, a potência do sinal, a interferência de outras fontes de rádio, a absorção e reflexão das ondas pelo ambiente, e a qualidade dos equipamentos de transmissão e recepção.

5.3 CANAL FIBRA ÓPTICA

5.3.1 A fibra óptica é o condutor físico dos sinais de luz utilizados nesse tipo de transmissão. Ela é composta por filamentos de vidro ou de plástico muito finos e flexíveis.

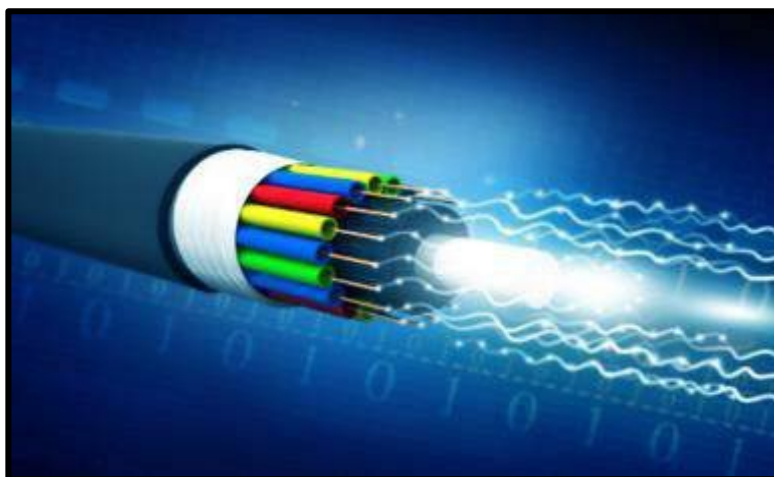


Fig 5-2 – Representação da comunicação por fibra óptica

5.3.2 Esses sinais de luz são usados para transmitir informações, como dados, voz e vídeo, a longas distâncias com alta velocidade e capacidade de largura de banda.

5.3.3 Ao contrário dos cabos de cobre, que usam sinais elétricos, os cabos de fibra óptica são imunes a interferências eletromagnéticas na faixa de RF e podem transmitir sinais por distâncias maiores sem perda significativa de qualidade do sinal.

5.3.4 Os canais de fibra óptica são amplamente utilizados em redes de telecomunicações, em transmissão de dados de alta velocidade, em aplicações médicas e militares, entre outros.

5.4 CANAL FIO

5.4.1 É um tipo de canal de comunicações que é usado para enviar dados, informações ou sinais elétricos de um dispositivo para outro, por meio de um condutor físico, geralmente um cabo ou fio metálico, que conecta, normalmente, dois dispositivos.

5.4.2 O canal fio é uma forma de transmissão de dados confiável e relativamente segura, pois o sinal elétrico é transmitido diretamente através do fio, sem a necessidade de outros dispositivos ou outras tecnologias para enviar ou receber os dados.

5.4.3 A qualidade do sinal de um canal fio pode ser afetada por diversos fatores, como a distância percorrida pelo sinal, a qualidade do cabo utilizado, a interferência eletromagnética e outros tipos de interferência, mas, em geral, é considerado um método confiável e de baixo custo para transmitir informações eletrônicas.

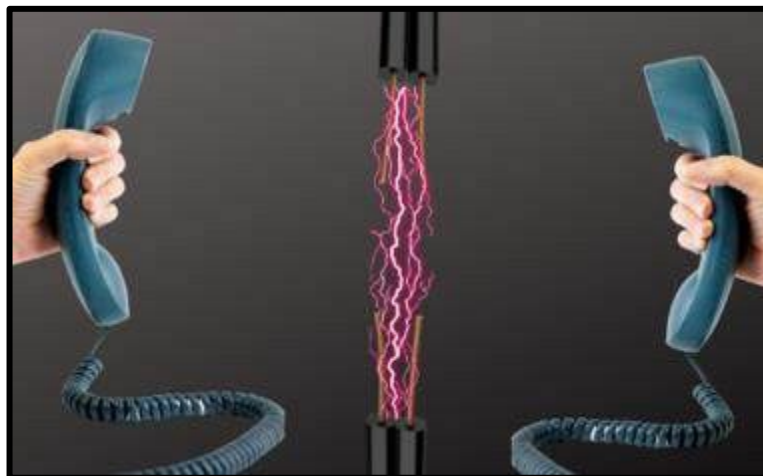


Fig 5-3 – Representação da comunicação por fio

5.5 PROPRIEDADES DOS CANAIS DE COMUNICAÇÕES

5.5.1 Cada tipo de canal possui características próprias e utilização específica, mas todos têm algumas propriedades em comum. Dentre elas, podem ser citadas as que se apresentam em seguida.

5.5.2 SELETIVIDADE EM FREQUÊNCIA

5.5.2.1 A seletividade em frequência é uma medida da variação na capacidade de um meio de transmitir sinais de diferentes frequências. Isso ocorre porque muitos meios de comunicação possuem uma faixa de frequência de operação limitada, ou seja, eles transmitem melhor algumas frequências do que outras.

5.5.2.2 Por exemplo, em um canal de comunicação de rádio, a seletividade de frequência pode afetar a qualidade do sinal, tornando algumas frequências mais propensas a sofrerem interferência eletromagnética ou atenuação do sinal devido à reflexão e à difração.

5.5.2.3 Em um cabo de fibra óptica, a seletividade de frequência pode afetar a capacidade de transmitir luz em diferentes comprimentos de onda.

5.5.2.4 Para mitigar os efeitos da seletividade de frequência, são utilizadas técnicas de modulação e equalização para compensar a perda de sinal em determinadas frequências e garantir a integridade do sinal transmitido. Além disso, muitas tecnologias de comunicação modernas usam várias frequências simultaneamente para aumentar a largura de banda e reduzir a susceptibilidade de interferências.

5.5.3 VARIÂNCIA TEMPORAL

5.5.3.1 A variação temporal é uma medida da mudança nas características de um canal de comunicação ao longo do tempo. Essa variação pode ocorrer em canais de comunicação sem fio, como canais de rádio móveis, devido a mudanças na propagação do sinal à medida que o transmissor e o receptor se movem.

5.5.3.2 Por exemplo, a propagação de ondas rádio terrestres pode ser afetada pela interferência, causada pelo relevo, por prédios e pela vegetação, entre o transmissor e o receptor. À medida que o transmissor ou o receptor se move, a intensidade do sinal pode mudar, o que pode levar a problemas de desempenho, como sombreamento (*shadowing*) e desvanecimento (*fading*).

5.5.3.3 O sombreamento ocorre quando um objeto bloqueia parcial ou totalmente o sinal entre o transmissor e o receptor, criando uma zona de sombra, onde o sinal é significativamente atenuado.

5.5.3.4 O desvanecimento rápido, por sua vez, é uma variação aleatória na intensidade do sinal devido às interferências múltiplas, à reflexão, à difração e a outras características do meio de transmissão.

5.5.3.5 Para lidar com a variação temporal, são utilizadas técnicas de equalização, diversidade e redundância de transmissão.

5.5.3.6 A diversidade, por exemplo, envolve a transmissão simultânea de múltiplos sinais por caminhos diferentes para mitigar os efeitos do desvanecimento.

5.5.3.7 A redundância, por sua vez, envolve a transmissão de informações adicionais para permitir a recuperação de erros de transmissão.

5.5.4 USO COMPARTILHADO

5.5.4.1 O compartilhamento de canais de comunicação é uma prática comum para maximizar a eficiência do uso do canal, permitindo que vários usuários o acessem simultaneamente. Isso é particularmente comum em canais de comunicação sem fio, como os utilizados em telefones celulares.

5.5.4.2 Existem várias técnicas de multiplexação que permitem o compartilhamento de canais de comunicação.

5.5.4.3 Um exemplo comum é a divisão de tempo (TDM), que divide o canal de comunicação em intervalos de tempo fixos, permitindo que diferentes usuários transmitam em intervalos de tempo diferentes.

5.5.4.4 Outra técnica comum é a divisão de frequência (FDM), que divide o canal de comunicação em subcanais de frequência separados, permitindo que diferentes usuários transmitam em diferentes subcanais de frequência.

5.5.4.5 No entanto, o compartilhamento de canais de comunicação pode levar a interferências entre diferentes usuários, se as estratégias de multiplexação não

fornecerem um perfeito isolamento entre eles.

5.5.4.6 Para minimizar as interferências, são utilizadas técnicas de controle de acesso ao meio, como protocolos de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) e acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA). Essas técnicas garantem que cada usuário tenha acesso ao canal de comunicação em momentos diferentes ou em frequências diferentes, evitando interferências entre os usuários.

5.5.5 ATENUAÇÃO DA INTENSIDADE DO SINAL

5.5.5.1 A comunicação frequentemente implica o transporte de informação ao longo de distâncias e, inevitavelmente, ocorre redução na intensidade do sinal com o aumento da distância.

5.5.5.2 O sinal elétrico vai perdendo energia ao se propagar no canal de comunicações e chega ao receptor com intensidade atenuada.

5.5.5.3 Com canais de rádio, o mecanismo fundamental de atenuação, devido à propagação no espaço livre, faz com que a potência recebida decresça na razão do quadrado da distância entre o emissor e o receptor.

5.5.5.4 Nas fibras ópticas, a atenuação do sinal cresce linearmente com a distância, em escala logarítmica.

5.5.5.5 Um canal telefônico, representado por um par de fios, comumente chamado de linha telefônica, tem impedância característica nominal de 600 ohms. O valor preconizado para o sinal aplicado à entrada da linha é de um miliwatt – 1mW sobre 600 Ω .

5.5.5.6 Linhas muito longas (acima de 10 Km) e em mau estado de conservação atenuam consideravelmente o sinal. A atenuação é medida com um sinal de teste de frequência de 1kHz.

5.5.5.7 Na efetivação do enlace, o valor da atenuação do sinal deve permanecer na faixa entre 13 e 18 dB. O recurso encontrado para restaurar o nível do sinal é o emprego do amplificador de linha.

5.5.6 LIMITAÇÃO EM LARGURA DE FAIXA OU LARGURA DE BANDA

5.5.6.1 A limitação em largura de banda é uma característica de todos os canais de comunicação, que impõe uma restrição na quantidade de informação que pode ser transmitida através do canal em um determinado intervalo de tempo.

5.5.6.2 A largura de banda é medida em Hz ou radianos por segundo (rad/s), e representa a quantidade de frequências que podem ser transmitidas pelo canal.

5.5.6.3 Em geral, a largura de banda em telefonia é limitada a cerca de 4 kHz, o que é suficiente para a transmissão de voz de qualidade aceitável.

5.5.6.4 Em canais de comunicação sem fio, a largura de banda pode variar

significativamente, dependendo das características do sistema de transmissão e das normas internacionais aplicáveis.

5.5.6.5 Por exemplo, a transmissão em SSB (banda lateral única) em HF pode ocupar um segmento de espectro de 3 kHz, enquanto a transmissão de rádio AM comercial ocupa cerca de 10 kHz.

5.5.6.6 Na telefonia móvel celular, a largura de banda é geralmente de 30 kHz ou mais, dependendo da tecnologia utilizada.

5.5.6.7 O canal de comunicação por fibra óptica é conhecido por ter uma largura de banda muito alta em comparação com outros tipos de canais, tornando-o adequado para a transmissão de grandes quantidades de dados a velocidades muito altas.

5.5.6.8 Isso se deve ao fato de que as fibras ópticas podem suportar uma ampla gama de comprimentos de onda de luz, permitindo que várias frequências sejam transmitidas simultaneamente pelo mesmo cabo de fibra óptica.

5.5.7 RETARDO

5.5.7.1 O retardo, também conhecido como *delay*, é o tempo que um sinal leva para atravessar um canal de comunicação. O tempo de retardo é calculado dividindo a distância percorrida pela onda no enlace entre os dois pontos pela velocidade de propagação da onda no meio de transmissão.

5.5.7.2 O retardo é especialmente importante em enlaces de comunicação de longa distância, como em enlaces via satélite, em que a distância percorrida pode ser muito grande.

5.5.7.3 O retardo pode causar um efeito de eco em ligações telefônicas via satélite geoestacionário, quando o dispositivo de cancelamento de eco não opera corretamente. Em um enlace via satélite de 40.000 km, por exemplo, o retardo é de aproximadamente 266 milissegundos.

5.5.7.4 Cada equipamento que integra o sistema de comunicações pode adicionar um tempo de retardo próprio devido aos circuitos eletrônicos envolvidos. Embora normalmente esse tempo de retardo seja de pequeno valor, em alguns casos pode ser significativo.

5.5.7.5 Além disso, em alguns casos, grupos de frequências do sinal podem sofrer um retardo maior que outras frequências, o que é conhecido como retardo de grupo.

5.5.7.6 O retardo de grupo é uma propriedade comum em sistemas de comunicação que usam filtros e outros componentes eletrônicos que afetam diferentes frequências de forma distinta.

5.5.7.7 O retardo de grupo pode afetar a qualidade do sinal e a sincronização de sinais em sistemas de comunicação de alta velocidade.

5.6 DISTÚRBIOS DOS CANAIS DE COMUNICAÇÕES

5.6.1 Durante a transmissão pelos canais de comunicação, os sinais podem sofrer interferências ou distúrbios que são capazes de afetar negativamente a qualidade e até mesmo impossibilitar a recepção do sinal.

5.6.2 RUÍDO

5.6.2.1 O ruído é uma fonte comum de interferência que pode afetar a qualidade da transmissão do sinal em um canal de comunicações. Ele pode ser gerado internamente, em dispositivos eletrônicos, ou externamente, no espaço livre, na forma de onda eletromagnética, resultante da radiação de corpo negro.

5.6.2.2 O movimento aleatório dos elétrons em circuitos receptores no ponto em que o sinal se encontra mais fraco também contribui para a presença do ruído.

5.6.2.3 Essa presença de ruído estabelece um limite fundamental para o desempenho dos sistemas de comunicação que buscam alcançar a máxima distância de transmissão ao custo de uma potência de transmissão mínima.

5.6.3 DISTORÇÃO DO SINAL

5.6.3.1 A distorção é um fenômeno que pode ocorrer em sistemas de comunicação e consiste na alteração da forma do sinal transmitido, no domínio do tempo. Isso pode ser causado por diversos motivos, como por exemplo a dispersão multipercurso.

5.6.3.2 Por exemplo, no canal de fio, ao aplicar pulsos das comunicações digitais diretamente a um par de fios ou a um cabo, as propriedades físicas do cabo podem causar distorção a partir de alguns poucos metros da fonte geradora.

5.6.3.3 É possível medir a distorção de um sinal com um instrumento chamado analisador de distorção.

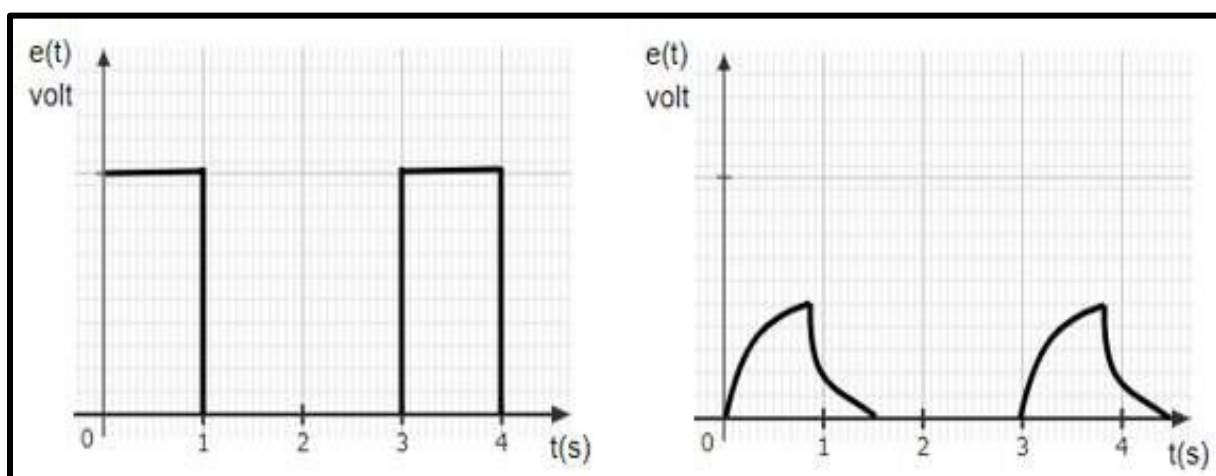


Fig 5-4 – Exemplos de distorção dos pulsos em comunicações de dados Fonte: MEDEIROS, 2016.

5.6.3.4 A distorção pode afetar a qualidade da transmissão de dados e deve ser levada em consideração na seleção da estratégia de modulação e na escolha do meio de

transmissão.

5.6.3.5 Os pulsos distorcidos podem ser identificados por uma forma de onda que se assemelha a dentes de serra, similar aos exemplificados na figura 5-4.

5.6.3.6 Nas comunicações digitais, a distorção pode afetar significativamente a qualidade da transmissão, especialmente no que diz respeito à inteligibilidade da mensagem transmitida.

5.6.3.7 Em alguns casos, a distorção pode levar à modificação do timbre da voz do correspondente, tornando-a irreconhecível ou de difícil compreensão.

5.6.4 SINAIS INTERFERENTES OU ESPÚRIOS

5.6.4.1 Sinais interferentes ou espúrios são sinais que interferem no canal de comunicações em uso, atrapalhando e dificultando a transmissão e recepção de informações.

5.6.4.2 Esses sinais podem ser gerados por outras comunicações que compartilham o mesmo canal, causando problemas como a linha cruzada em ligações telefônicas.

5.6.4.3 Eles também podem ocorrer em comunicações via rádio, de forma ocasional ou proposital.

5.6.4.4 Quando um sinal de outra conversa interfere na transmissão em curso, é considerado um sinal espúrio ou indesejável, prejudicando a qualidade e a eficácia do sistema de comunicação.

5.7 DISTÚRBIOS ESPECÍFICOS DO CANAL RÁDIO

5.7.1 ONDAS DE MULTIPERCURSO

5.7.1.1 Nas comunicações por rádio, em especial em sistemas móveis, uma parcela da energia irradiada pela antena transmissora forma uma onda direta que segue diretamente até a antena receptora.

5.7.1.2 O restante da energia se dispersa, gerando ondas secundárias por meio de reflexões no solo, em elevações do terreno (como montanhas), nas paredes de prédios, em áreas urbanas, em veículos e em outros obstáculos, móveis ou fixos; e algumas dessas ondas secundárias acabam se perdendo e não chegam até a antena receptora.

5.7.1.3 Esse fenômeno é conhecido como ondas de multipercurso e pode causar interferência e atenuação do sinal devido à interferência entre as ondas primárias e secundárias.

5.7.1.4 As ondas secundárias de diferentes percursos, por isso denominadas ondas de multipercurso, chegam à antena receptora com diferentes intensidades, defasadas entre si e da onda principal.

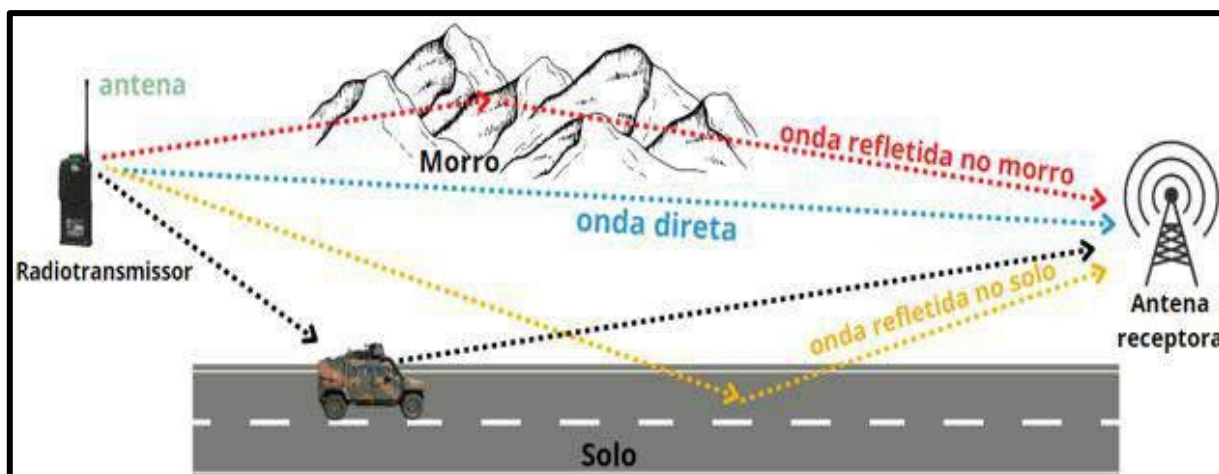
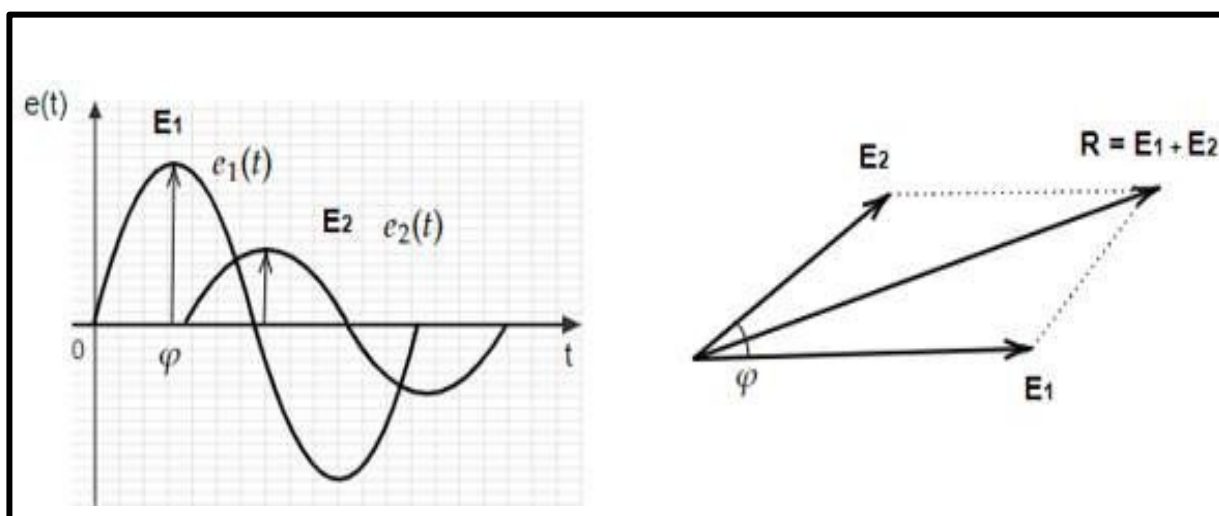


Fig 5-5 – Exemplo de ondas multipercursos Fonte: MEDEIROS, 2016.

5.7.1.5 Essas ondas secundárias podem sofrer reflexão, difração e espalhamento, resultando em um sinal que varia de intensidade a cada instante. O sinal resultante é a soma vetorial dos diversos sinais captados pela antena e pode passar por nulos de tensão, pode aumentar ou diminuir de intensidade de forma aleatória, fenômeno conhecido como desvanecimento ou *fading*.

Fig 5-6 – Exemplo da soma vetorial instantânea de dois sinais senoidais de mesma frequência, defasadas e com as mesmas amplitudes ϕ . Fonte: MEDEIROS, 2016.

5.7.1.6 O desvanecimento pode ser causado por diversos fatores, incluindo a variação da altura do terreno, a presença de obstáculos móveis, como veículos e pessoas, e as mudanças nas condições atmosféricas.

5.7.1.7 O efeito do multipercursos também pode ser observado em comunicações móveis, como na telefonia móvel celular, em que o sinal pode ser refletido em prédios, veículos e outros obstáculos, causando flutuações na intensidade do sinal recebido pelo terminal móvel.

5.7.1.8 Essas flutuações podem resultar em interrupções momentâneas ou queda da qualidade da chamada. Além disso, em casos extremos de nulos prolongados, o sistema pode interpretar como desconexão do terminal móvel e finalizar a chamada. Para minimizar esses efeitos, são utilizadas técnicas de equalização do canal e de diversidade de antena.

5.7.1.9 A figura a seguir ilustra as amplitudes e a defasagem entre a onda direta e uma onda refletida no solo, assim como o efeito na fase da onda refletida, em uma situação de multipercurso nas comunicações rádio.

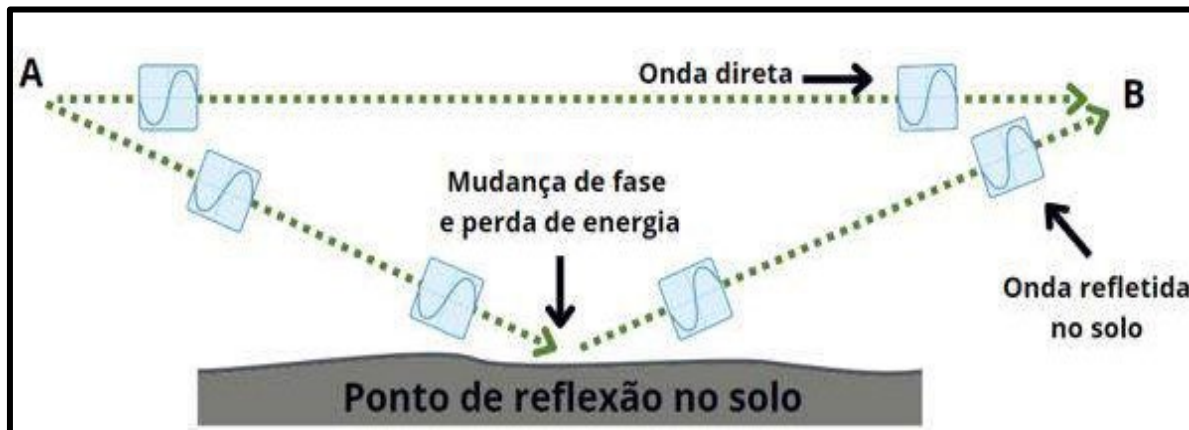


Fig 5-7 – Exemplo de transmissão e recepção de onda direta e refletida Fonte: MEDEIROS, 2016.

5.7.2 DESVANECIMENTO

5.7.2.1 O desvanecimento é um fenômeno que ocorre devido a problemas de propagação, geralmente causados pelas ondas de multipercurso e por dutos. O sinal recebido apresenta flutuações e variações de intensidade, passando por nulos ou zeros de tensão.

5.7.2.2 O cálculo de desvanecimento em canais de comunicações rádio pode ser feito através da média das variações do sinal recebido, obtidas de um aparelho registrador gráfico.

5.7.2.3 O valor típico do desvanecimento em propagação em visibilidade é de 40 dB, e esse valor é acrescentado com perda adicional (margem de desvanecimento) nos cálculos de enlace.

5.7.2.4 Além disso, existem modelos matemáticos que podem ser utilizados para prever o desvanecimento em canais de comunicação, como o modelo Rayleigh para canais com multipercurso.

5.7.3 AÇÃO DA CHUVA SOBRE AS ONDAS RÁDIO

5.7.3.1 A chuva pode causar dois tipos de efeitos negativos na propagação de ondas rádio: a atenuação e a degradação da polarização.

4.5.17.3.1 Atenuação – a chuva atua como um obstáculo para as ondas rádio, absorvendo e dispersando a energia da onda, o que resulta em atenuação do sinal.

Quanto mais forte for a chuva, maior será a atenuação do sinal.

5.7.3.1.1 Degradação da polarização – a chuva é capaz de mudar a polarização da onda de rádio, fazendo com que a polarização do sinal recebido na antena receptora seja diferente da polarização do sinal transmitido pela antena transmissora. Isso pode causar uma degradação do sinal recebido, afetando sua qualidade.

5.7.3.2 É importante notar que a atenuação da chuva é mais forte em frequências mais altas, o que pode limitar a utilização de algumas faixas de frequência em áreas com forte precipitação pluviométrica.

5.7.3.3 Além disso, em sistemas de comunicação via satélite, é comum utilizar técnicas de compensação de chuva, como a utilização de antenas com maior diâmetro e com potência de transmissão mais alta, para minimizar os efeitos negativos da chuva na propagação do sinal.

5.7.4 EFEITO DOPPLER

5.7.4.1 O efeito Doppler ocorre com as ondas rádio da mesma maneira que ocorre com as ondas sonoras.

5.7.4.2 Quando um automóvel está em movimento e passa buzinando por uma pessoa parada na beira da estrada, o som da buzina é ouvido em uma frequência diferente daquela que é gerada. À medida que o automóvel se aproxima da pessoa e passa por ela, o som parece mudar de frequência.

5.7.4.3 Da mesma forma, em telecomunicações, quando um rádio móvel se move em direção ou se afasta de um receptor fixo, a onda transmitida pelo rádio móvel é recebida em uma frequência diferente, alterada de $\pm \Delta[\text{Hz}]$, dependendo da direção do movimento. Se o rádio móvel se move em direção ao ponto de transmissão, Δf é positivo, e, se ele se afasta do ponto de transmissão, Δf é negativo.

5.7.4.4 Esse efeito pode interromper as comunicações. Em telefonia móvel celular, quando Δf é acentuado devido à velocidade de movimento do rádio móvel, o receptor perde a sintonia e a ligação é desfeita automaticamente.

5.7.5 FORMAÇÃO DE DUTOS NO PERCURSO DA ONDA

5.7.5.1 Os dutos são mais comuns em enlaces rádio em visibilidade e tendem a ocorrer com maior frequência em regiões tropicais e em áreas alagadas, como arrozais, salinas, pântanos e florestas.

5.7.5.2 Esses dutos são formados por inversões térmicas que ocorrem nas camadas de ar sobre a superfície terrestre.

5.7.5.3 Durante o dia, os raios solares esquentam o solo e fazem com que ele libere calor, aquecendo a água presente na superfície. À noite, camadas de ar quente e úmido se formam acima do solo, com diferentes densidades e índices de refração.

5.7.5.4 Acima da camada de ar quente e úmido, sopram brisas frescas de ar mais frio.

Pela manhã, com o solo já resfriado, a camada de vapor sobe e se desfaz, reiniciando naturalmente o processo.



Fig 5-8 – Exemplo de sequência de formação de dutos Fonte: MEDEIROS, 2016.

5.7.5.5 Quando há formação de dutos, é possível identificar dois tipos: o duto de superfície, que costuma durar mais tempo, e o duto elevado, que tem uma duração menor.

5.7.5.6 O duto funciona como um túnel para a onda de rádio, desviando-a da direção principal e, assim, causando variações no sinal recebido. Por vezes, essas variações podem resultar em enlaces de longas distâncias que não eram esperados.

5.7.5.7 O pior cenário para um enlace é quando uma das antenas, a transmissora ou a receptora, está fora do duto. A Fig 5-9 mostra um exemplo de onda em um enlace afetado pelo efeito do duto.

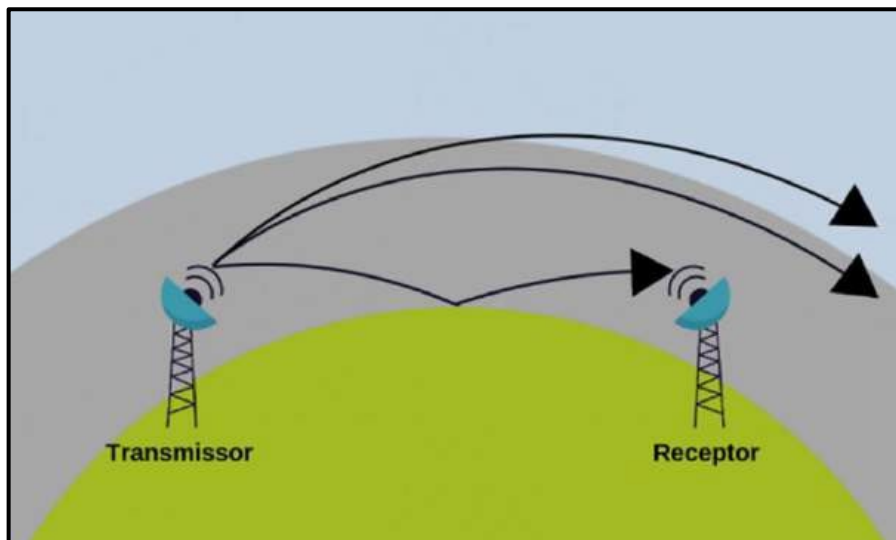


Fig 5-9 – Exemplo de onda sob efeito de duto Fonte: MEDEIROS, 2016.

CAPÍTULO VI

MODULAÇÃO DE SINAIS

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

6.1.1 A maioria dos sinais de entrada, na maneira como é fornecida pelo transdutor, não pode ser enviada diretamente através do canal. Consequentemente, uma onda portadora, cujas propriedades são mais convenientes ao meio de transmissão em questão, é modificada para representar a mensagem. A modulação é a alteração sistemática de uma onda portadora de acordo com a mensagem (sinal modulante), podendo ainda incluir uma codificação.

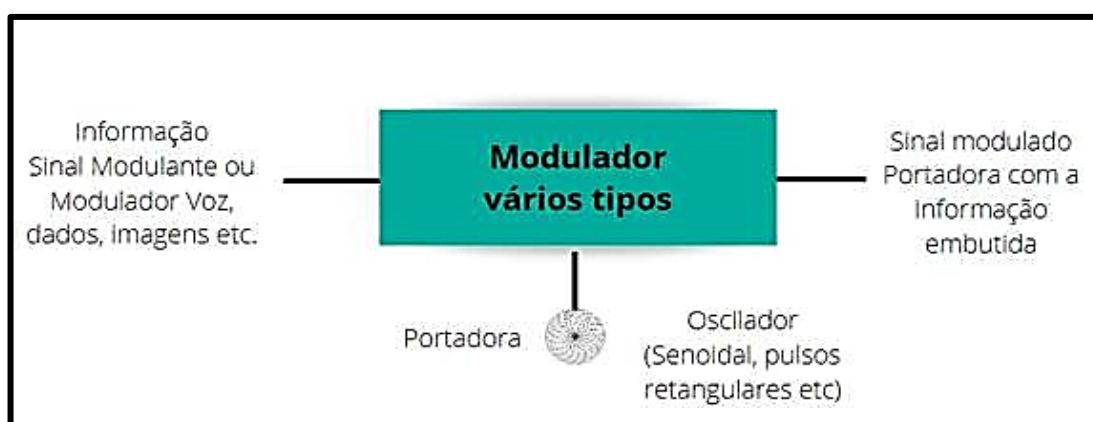


Fig 6-1 – Sinal modulado

6.1.2 Portadora é o nome que se dá, genericamente, ao sinal que tem uma ou mais de suas características alteradas. A portadora serve apenas para transportar a informação e não apresenta nenhuma outra utilidade no que diz respeito à informação.

6.1.3 Oscilador é o circuito gerador da portadora, cuja forma de onda pode ser qualquer periódica (senoidal e trem de pulsos retangulares são as ondas mais usadas).

6.1.4 Sinal modulante é aquele que contém a informação a ser transmitida. Este sinal deverá ser recuperado na recepção. A operação inversa da modulação é a demodulação e se destina a recuperar o sinal modulante (informação).

6.1.5 Definições de modulação é o processo de se variar alguma das características de uma onda senoidal de alta frequência com o valor instantâneo do sinal a ser transmitido. O sinal de frequência é chamado de portadora, enquanto o sinal a ser transmitido é chamado de sinal modulador ou modulante. Já a portadora com a informação embutida é chamada de sinal modulado ou onda portadora modulada.

6.1.6 A modulação em amplitude (*amplitude modulation*) ocorre quando o sinal modulador altera a amplitude da portadora de forma a embutir nesta alteração a informação que se quer transmitir. Se a portadora for uma onda senoidal, o sinal modulado mantém sua fase e sua frequência inalteradas.

6.2 MODULAÇÃO

6.2.1 Definição inicial

6.2.1.1 Em grande parte, o êxito de um sistema de comunicações para uma dada finalidade depende da modulação, de modo que o tipo de modulação é uma decisão fundamental em projetos de sistemas.

6.2.1.2 Correspondentemente, muitas técnicas diferentes de modulação são utilizadas para satisfazer os diversos requisitos e as diversas especificações de um sistema. Quando surge uma nova especificação, novas técnicas são desenvolvidas.

6.2.2 TIPOS BÁSICOS

- Apesar da grande variedade, é possível identificar dois tipos básicos de modulação de acordo com o tipo da onda portadora: modulação de onda contínua (CW) e modulação por pulsos.

6.2.2.1 Modulação de CW – a portadora é simplesmente uma onda senoidal, aplicada a sistemas de modulação analógica.

6.2.2.2 Modulação por pulsos – a portadora é um trem periódico de pulsos, aplicada na modulação codificada (digital).

6.2.3 A DISTINÇÃO ENTRE MODULAÇÃO ANALÓGICA E CODIFICADA

6.2.3.1 Na modulação analógica, o parâmetro modulado varia na proporção direta do sinal modulante. Já na modulação codificada, uma transformação digital é realizada para que a mensagem seja convertida de uma linguagem simbólica para outra.

6.2.3.2 Porém, independentemente do tipo, contínua ou pulsada, analógica ou codificada, a modulação deve ser um processo reversível, de modo que a mensagem seja recuperada no receptor (demodulação).

6.3 MODULAÇÃO ANALÓGICA

6.3.1 A transmissão de sinais analógicos, recorrendo a técnicas baseadas na modulação de portadoras, é muito utilizada na difusão de som (radiodifusão) e sinais de televisão. As duas principais técnicas são a modulação de amplitude (AM) e a modulação de frequência (FM).

6.3.2 MODULAÇÃO DE AMPLITUDE (AM)

6.3.2.1 Nesta técnica, o sinal a transmitir é veiculado na amplitude de uma portadora de frequência, que pode ser elétrica, eletromagnética ou óptica, isto é, a amplitude da portadora varia de forma diretamente proporcional à amplitude do sinal transmitido. A Fig 6-2 mostra um sinal modulado em AM.

6.3.2.2 No domínio da frequência, quando um sinal de banda base é modulado em

uma portadora, o espectro resultante consiste em duas cópias do espectro original, espelhadas em torno da frequência da portadora. Isso significa que a largura de banda necessária para transmitir o sinal modulado é duas vezes maior do que a largura de banda necessária para transmitir o sinal de banda base original.

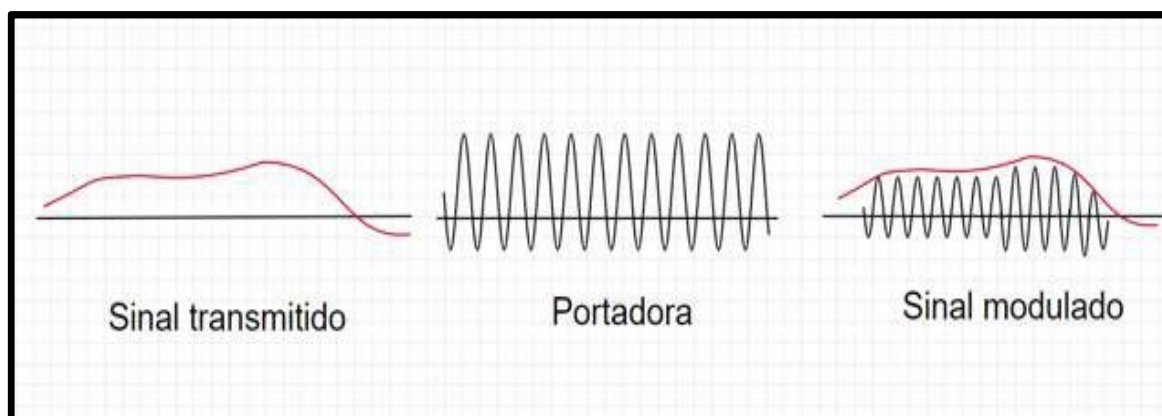


Fig 6-2 – Modulação em amplitude (AM) Fonte: MOREIRA, 1999.

6.3.2.3 Para melhorar a eficiência espectral, é possível eliminar um dos lobos do espectro antes da transmissão. Isso pode ser feito usando um filtro passa-baixa para eliminar o lobo superior ou um filtro passa-alta para eliminar o lobo inferior. A escolha do filtro depende do espectro do sinal de banda base original e da frequência da portadora.

6.3.2.4 Ao eliminar um dos lobos do espectro, é possível reduzir a largura de banda necessária para transmitir o sinal modulado, aumentando a eficiência espectral da transmissão. No entanto, a eliminação de um dos lobos do espectro também pode afetar a integridade da informação, especialmente se informações importantes estiverem contidas na faixa de frequência que está sendo eliminada.

6.3.2.5 Os sinais modulados em AM são muito sensíveis ao ruído e à interferência aditivos, uma vez que a informação é transportada pela amplitude da portadora.

6.3.3 MODULAÇÃO DE FREQUÊNCIA (FM)

6.3.3.1 A modulação em frequência consiste em fazer variar a frequência de uma portadora de forma diretamente proporcional à amplitude do sinal a ser transmitido. A Fig 6-3 mostra um sinal modulado em FM.

6.3.3.2 O espectro de um sinal modulado em FM não é simétrico em torno da frequência da portadora, pelo que não é possível eliminar um dos lobos, tal como no caso dos sinais AM. Assim, o espectro de um sinal modulado em FM é mais largo que o espectro do sinal AM equivalente.

6.3.3.3 Os sinais modulados em FM são mais robustos ao ruído e à interferência aditivos que os sinais AM, uma vez que a informação é transportada pela frequência instantânea do sinal modulado e não pela amplitude da portadora. Assim, nos sistemas de transmissão em que é necessária uma maior qualidade do sinal (relação sinal-

ruído), é utilizada normalmente a modulação em frequência.

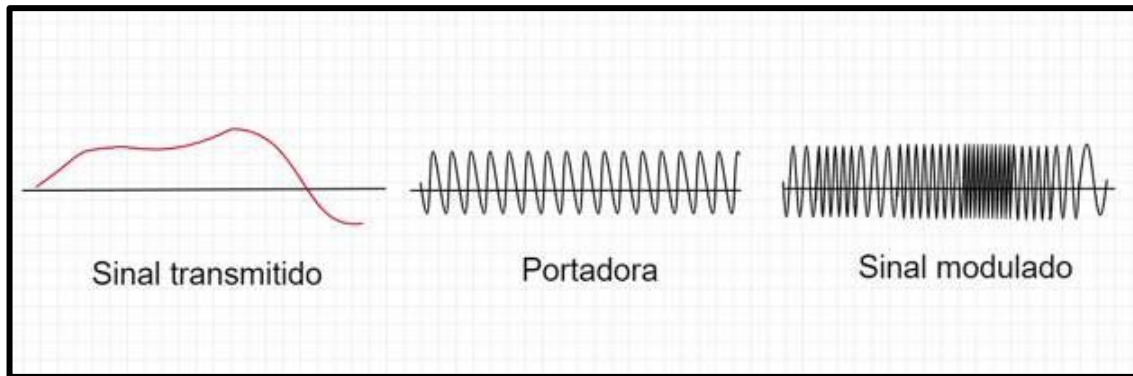


Fig 6-3 – Modulação em frequência (FM) Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4 MODULAÇÃO DIGITAL

6.4.1 Nos sistemas de transmissão digital, os sinais podem ser transmitidos utilizando técnicas de modulação em banda base ou técnicas baseadas em portadoras. Em qualquer dos casos, a transmissão pode ser binária ou multinível.

6.4.2 Nos sistemas de transmissão digital, a qualidade da transmissão é medida através da probabilidade de erro de bit, isto é, da probabilidade de uma vez transmitido um bit, este seja interpretado pelo receptor de forma errada. Os valores típicos da probabilidade de erro de bit vão de 10^{-4} a 10^{-9} .

6.4.3 TRANSMISSÃO BINÁRIA E MULTINÍVEL

6.4.3.1 Nos sistemas de transmissão digital, a informação a transmitir está normalmente representada por um conjunto ou por uma sequência de bits (informação binária). O objetivo do sistema de transmissão é transmitir esses bits. Quando cada um deles é transmitido isoladamente, isto é, através da transmissão de um símbolo por cada bit, diz-se que estamos em presença de transmissão binária.

6.4.3.2 Quando, ao contrário, os bits são agrupados em palavras binárias e transmitidos utilizando-se um símbolo para cada palavra, diz-se que estamos em presença de transmissão multinível. Em transmissão binária, o sistema de transmissão emite sequencialmente um de dois símbolos que representa um dos dois bits (0 ou 1).

6.4.3.3 A utilização de transmissão multinível permite obter um balanço entre a largura de banda ocupada pelo sinal modulado e a potência de transmissão necessária para que se obtenha uma dada probabilidade de erro.

6.4.4 TRANSMISSÃO EM BANDA BASE

6.4.4.1 Modulação Digital OOK (*On Off Keying*)

6.4.4.1.1 A modulação OOK é uma técnica binária e utiliza dois símbolos para representar os bits 0 e 1. Os dois símbolos consistem em duas amplitudes de uma

grandeza física, tal como a corrente ou a tensão de um sinal elétrico.

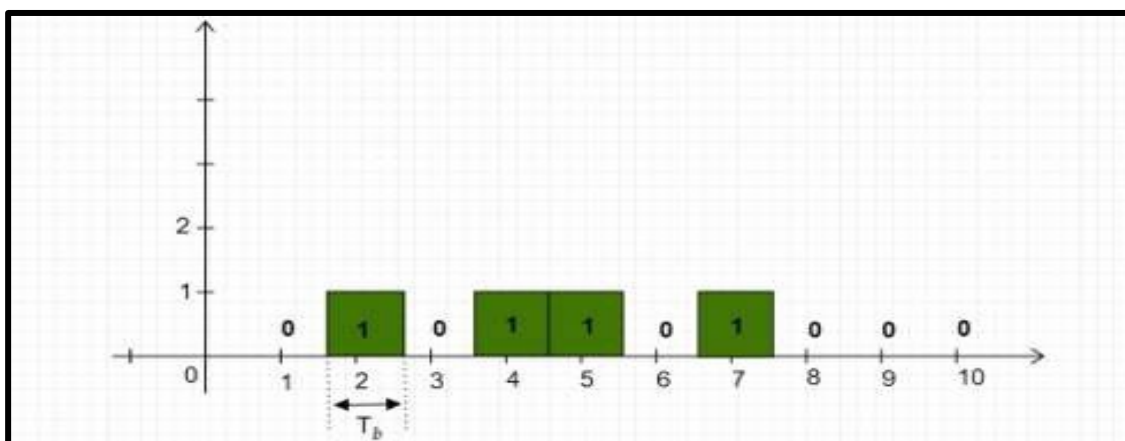


Fig 6-4 – Sinal OOK-NRZ Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.4.1.2 Quando, como na Fig 6-4, o impulso que representa o bit "1" tem uma duração igual ao período de um bit, diz-se que o sinal é do tipo não-retorno-a-zero (NRZ - *Non-Return-to-Zero*). Quando a duração dos impulsos é inferior à duração de um bit, o sinal é do tipo retorno-a-zero (RZ - *Return-to-Zero*), tal como mostra a Fig 6-5.

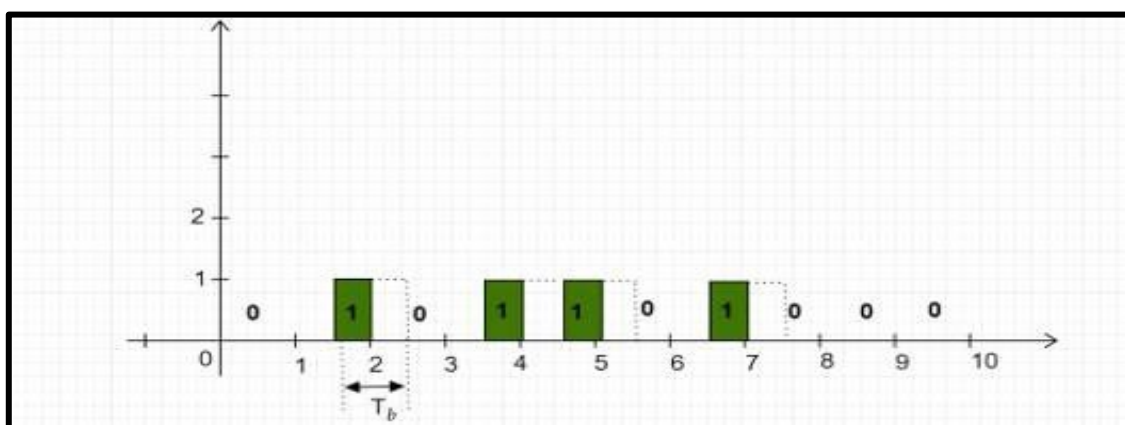


Fig 6-5 – Sinal OOK-RZ Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.4.2 Modulação Digital PAM (*Pulse Amplitude Modulation*)

6.4.4.2.1 A modulação da amplitude do impulso consiste na utilização de impulsos com amplitudes diferentes para representar símbolos diferentes. Na sua forma mais simples, são utilizados impulsos com duas amplitudes diferentes, o que corresponde à modulação OOK se uma das amplitudes for nula.

6.4.4.2.2 Se forem utilizados impulsos com mais de duas amplitudes diferentes, estamos em presença de modulação multinível.

6.4.4.2.3 A Fig 6-6 mostra um exemplo de um sinal modulado em 4-PAM, isto é, em que são utilizadas 4 amplitudes diferentes para constituir outros tantos símbolos.

6.4.4.2.4 No exemplo da Fig 6-6, cada um dos 4 diferentes símbolos representa uma das 4 palavras de 2 bits. Assim, a duração (T_s) de cada impulso (símbolo) é duas vezes a duração de um bit (T_b). A taxa de transmissão de bits (débito binário) é duas vezes superior à cadência com que são transmitidos os símbolos (*baud rate*).

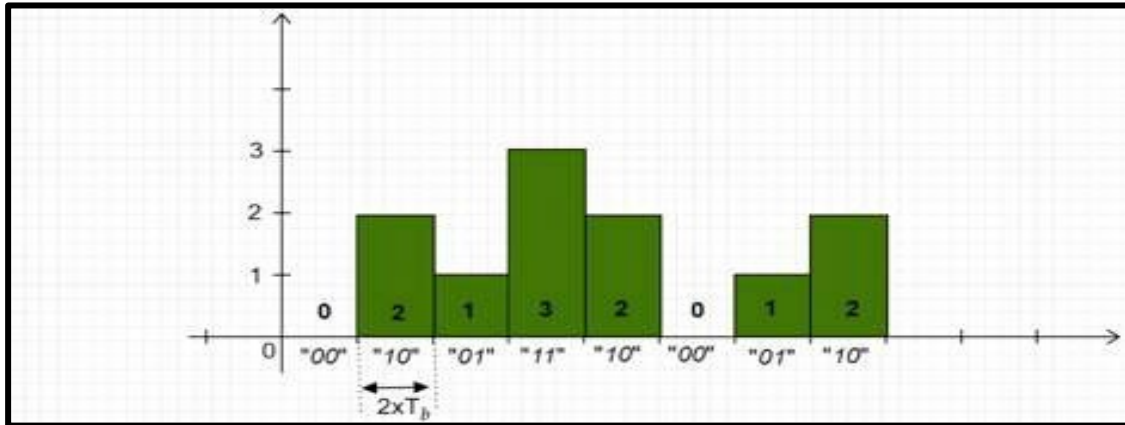


Fig 6-6 – Sinal 4-PAM Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.4.3 Modulação Digital PPM (*Pulse Position Modulation*)

6.4.4.3.1 A modulação de posição do impulso consiste na divisão do tempo atribuído à transmissão de um símbolo em M intervalos iguais, sendo a informação transmitida através da transmissão de um (apenas um) impulso numa dessas M posições. A PPM é também uma técnica de transmissão multinível.

6.4.4.3.2 A Figura 6-7 mostra um exemplo de 4-PPM, isto é, um exemplo em que o tempo de um símbolo é dividido em quatro intervalos iguais. A transmissão de um impulso, em cada uma das 4 posições, representa os 4 símbolos diferentes.

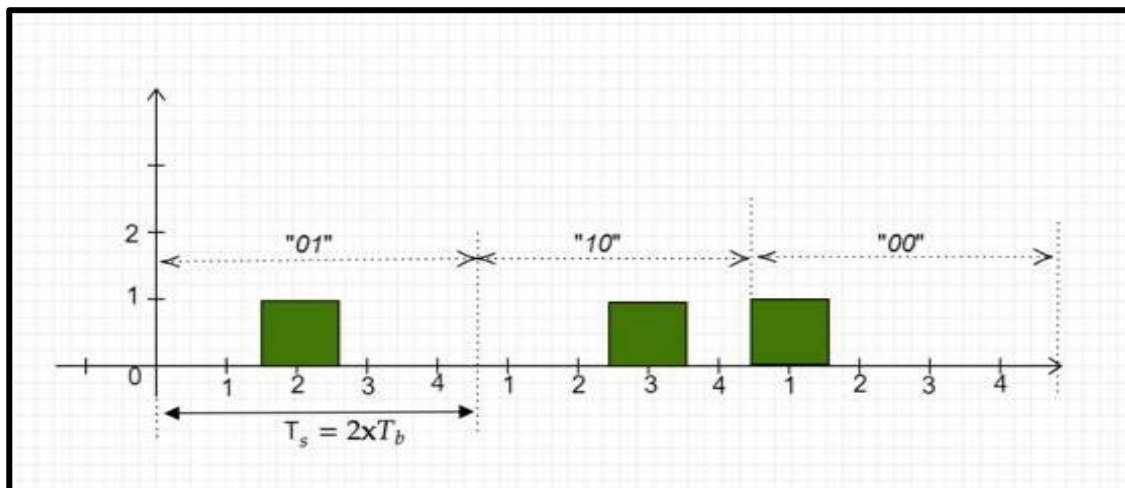


Fig 6-7 – Sinal 4-PPM Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.4.3.3 Uma vez que os impulsos transmitidos em cada símbolo têm uma duração temporal menor que a duração de um bit, a largura de banda ocupada por um sinal PPM é maior que a largura de banda ocupada por um sinal OOK- NRZ.

6.4.5 TRANSMISSÃO COM PORTADORAS

6.4.5.1 As técnicas de transmissão digital com portadoras consistem em fazer variar uma das características de uma onda sinusoidal ao longo do tempo, de acordo com os dados a transmitir. Essas características são a amplitude, a frequência e a fase.

6.4.5.2 Modulação Digital ASK (*Amplitude Shift Keying*)

6.4.5.2.1 A técnica ASK é o parente digital da modulação de amplitude (AM). Num sinal ASK é a amplitude de uma portadora que varia no tempo de acordo com os bits a transmitir.

6.4.5.2.2 Na Fig 6-8 mostra-se um exemplo de um sinal ASK.

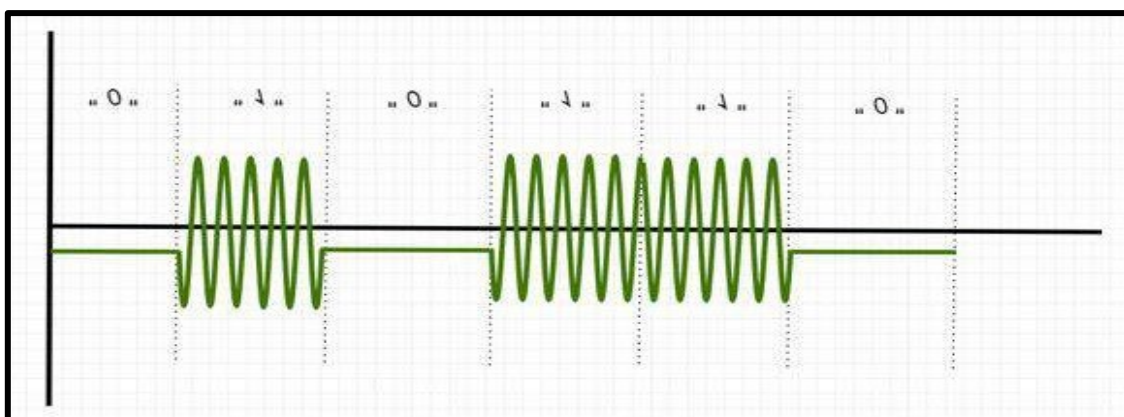


Fig 6-8 – Modulação ASK Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.5.3 Modulação Digital FSK (*Frequency Shift Keying*)

6.4.5.3.1 A técnica FSK é o parente digital da FM. Num sinal FSK é a frequência de uma portadora que varia no tempo de acordo com os bits a transmitir.

6.4.5.3.2 Na Fig 6-9, mostra-se um exemplo de um sinal FSK.

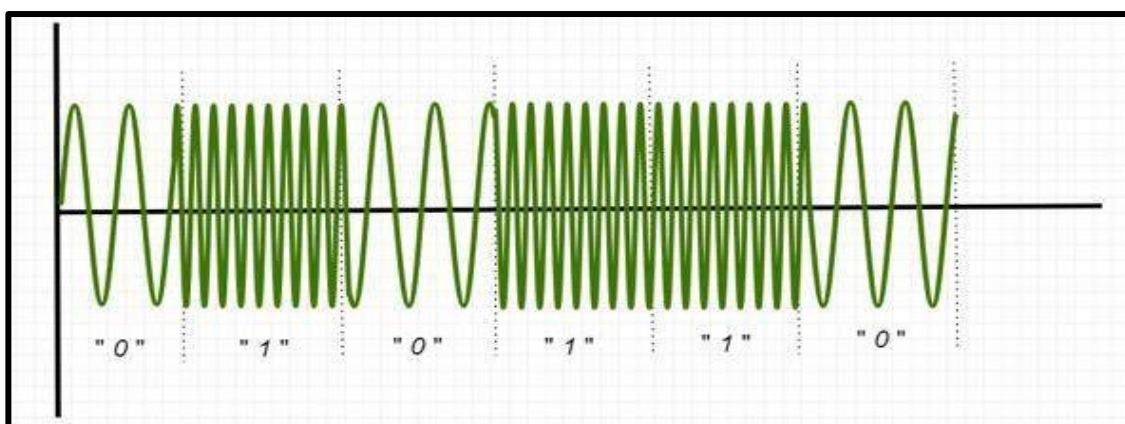


Fig 6-9 – Modulação FSK Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.5.4 Modulação Digital PSK (*Phase Shift Keying*)

6.4.5.4.1 Na técnica PSK, o sinal transmitido transporta os dados digitais através da variação temporal da fase de uma portadora de acordo com os bits a transmitir.

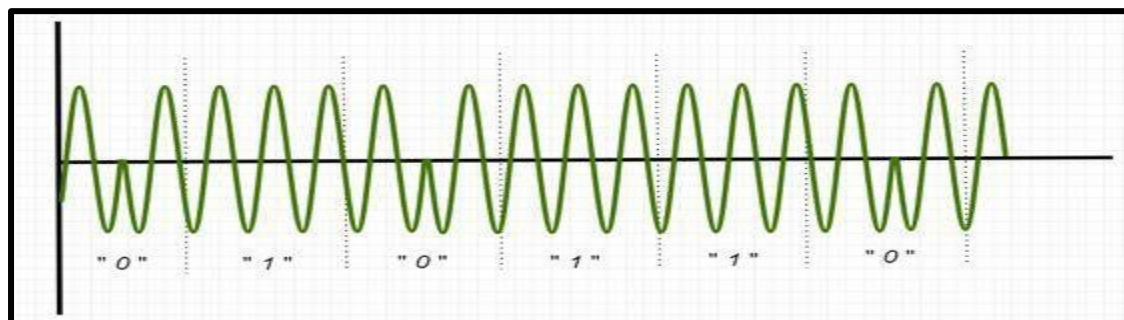


Fig 6-10 – Modulação PSK Fonte: MOREIRA, 1999.

6.4.5.5 Comparativo entre as Modulações ASK, FSK e PSK

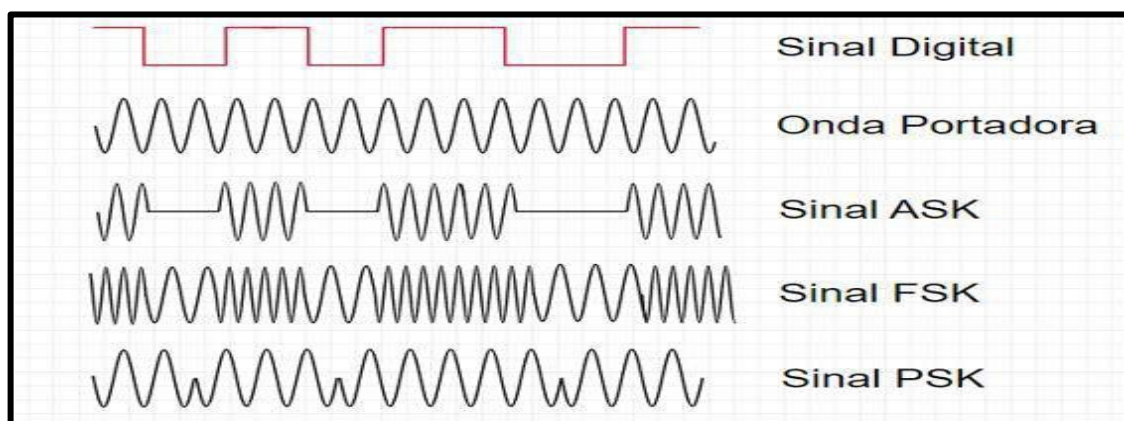


Fig 6-11 – Comparativo das modulações ASK, FSK e PSK

CAPÍTULO VII

MULTIPLEXAÇÃO DE CANAIS

7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

7.1.1 Quando se deseja transmitir por uma única onda portadora sinais analógicos oriundos de diferentes fontes, geralmente canais de voz com informações distintas, faz-se uma operação denominada multiplexação de canais.

7.1.2 O espectro dos sinais obtidos da multiplexação constitui a banda base do sinal multiplexado, que atua como sinal modulador da onda portadora a ser transmitida no canal de comunicações, na maior parte dos casos, rádio.

7.1.3 Quando da recepção, após o processamento do sinal RF seguido da demodulação, os sinais são devidamente separados numa operação inversa à multiplexação, denominada de demultiplexação, e os canais de voz seguem rumo aos terminais dos respectivos destinatários.

7.1.4 Os equipamentos que realizam as operações de multiplexação e de demultiplexação são conhecidos pelas siglas MUX e DEMUX, respectivamente.

7.1.5 O diagrama em blocos da Fig 7-1 dá uma ideia de como o sistema funciona.

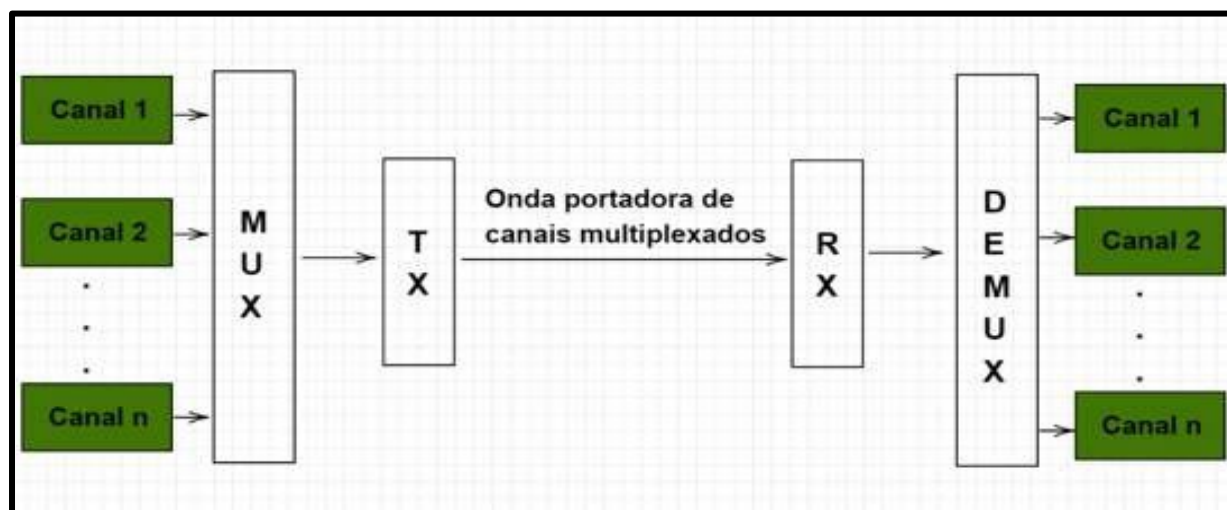


Fig 7-1 – Processo de multiplexação e de demultiplexação Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.1.6 As frequências da voz ocupam o espectro de 300 a 3400 Hz, alcançando os seus harmônicos até 6 kHz, mas o canal de voz padrão na telefonia tem banda passante $B = 4$ kHz.

7.2 MULTIPLEXAÇÃO

7.2.1 Nas telecomunicações, a multiplexação ou multiplexagem é uma técnica que consiste na combinação de dois ou mais canais de informação por apenas um meio de transmissão, usando um dispositivo chamado multiplexador.

7.2.2 A vantagem desse processo é a possibilidade de que haja a comunicação simultânea por um mesmo meio (utilizado em aparelhos de telefone, por exemplo), a desvantagem é que, em seguida, é preciso filtrar os sinais enviados para conseguir identificar a mensagem de cada usuário e isso pode causar interferências ou problemas na rapidez da comunicação.

7.2.3 Um sinal pode ser estudado no domínio do tempo e no domínio da frequência, são tais parâmetros que disponibilizam espaços destinados às telecomunicações.

7.2.4 DOIS MODOS DE MULTIPLEXAÇÃO DE CANAIS SÃO: ANALOGICAMENTE E DIGITALMENTE.

7.2.4.1 Analogicamente por divisão de frequência

– FDM (*frequency Division multiplex*) (MEDEIROS, 2016).

7.2.4.2 Digitalmente por divisão de tempo

– TDM (*time division multiplex*) (MEDEIROS, 2016).

7.2.4.3 A Fig 7-2 ajuda a entender o que está sendo explicado, na qual cada um dos espaços separa os canais. Em FDM, esse espaço é denominado banda de guarda, enquanto em TDM, denomina-se tempo de guarda.

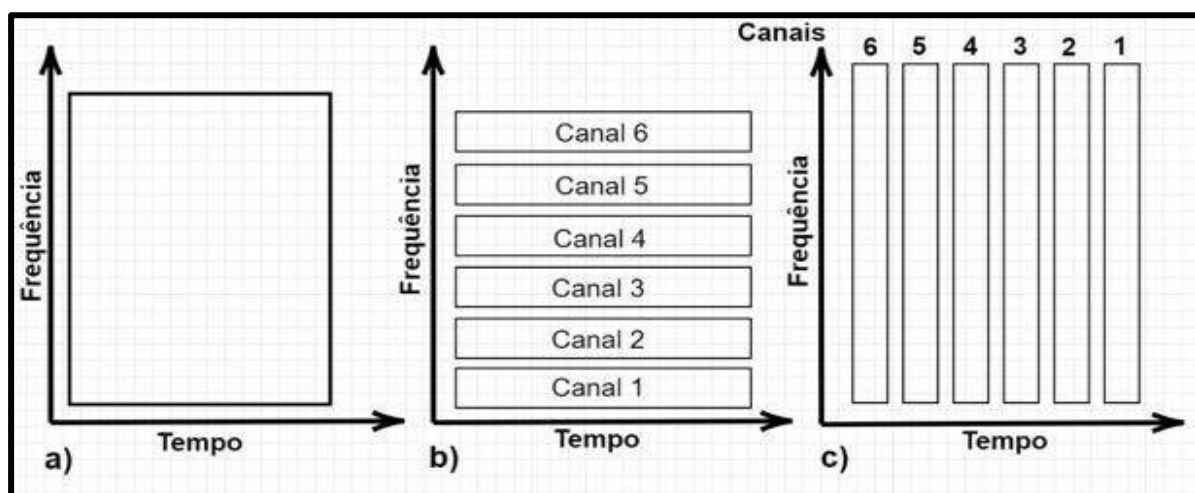


Fig 7-2 – Comparativo entre as multiplexações FDM (b), TDM (c) e sem multiplexação (a) Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.3 MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE FREQUÊNCIA (FDM)

7.3.1 É interessante compreender como funciona a Multiplexação por Divisão de Frequência ou FDM (*Frequency Division Multiplexing*), um processo analógico de multiplexação de sinais.

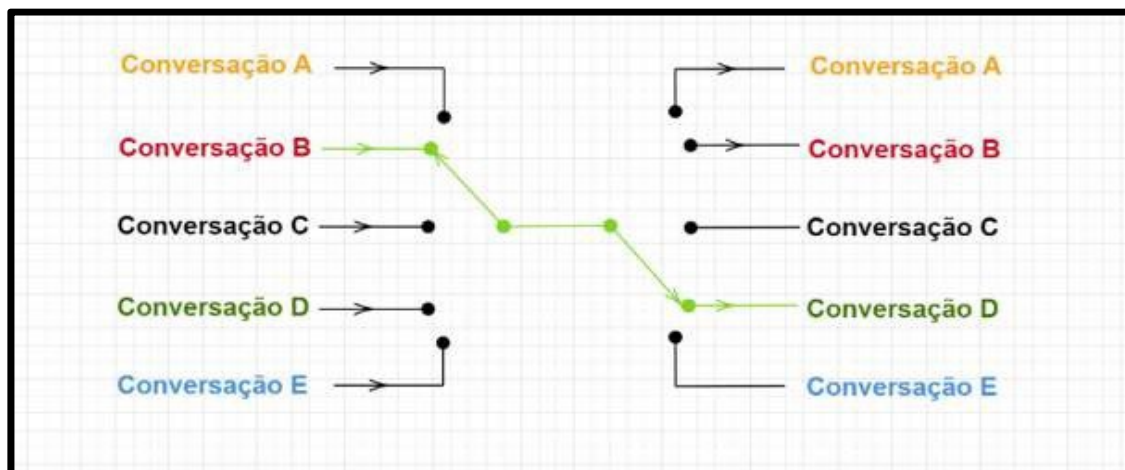


Fig 7-3 – Esquema de multiplexação por divisão de frequência

7.3.1.1 Trata-se de uma técnica que, além de ser encontrada em equipamentos MUX de canais de voz, é importante por se fazer presente no processo de multiplexação OFDM (*Orthogonal Frequency division Multiplexing*) ou Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência, empregada em transmissões digitais de radiodifusão, em que múltiplos sinais são enviados por milhares de pequenas portadoras em diferentes frequências.

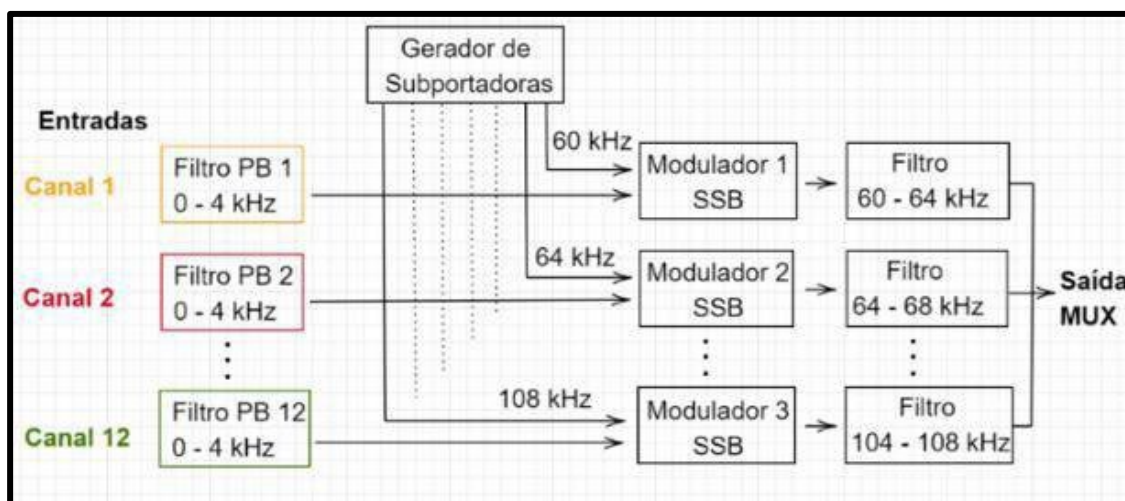


Fig 7-4 – Multiplexação OFDM Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.3.1.2 Quando o canal é codificado, empregando uma técnica de correção de erro, a modulação recebe a denominação de COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) ou Multiplexação Ortogonal Codificada por Divisão de Frequência, usada, por exemplo, no Sistema Brasileiro de TV Digital.

7.3.1.3 Um pacote com 12 canais de voz é obtido à saída do bloco MUX. A banda base dos canais multiplexados ocupa $12 \times 4 \text{ kHz} = 48 \text{ kHz}$. Se modular uma onda portadora, em FM, a transmissão ocupa uma banda B bem maior no espectro de frequências. Um sinal piloto inserido em 60 kHz facilita a sintonia na recepção.

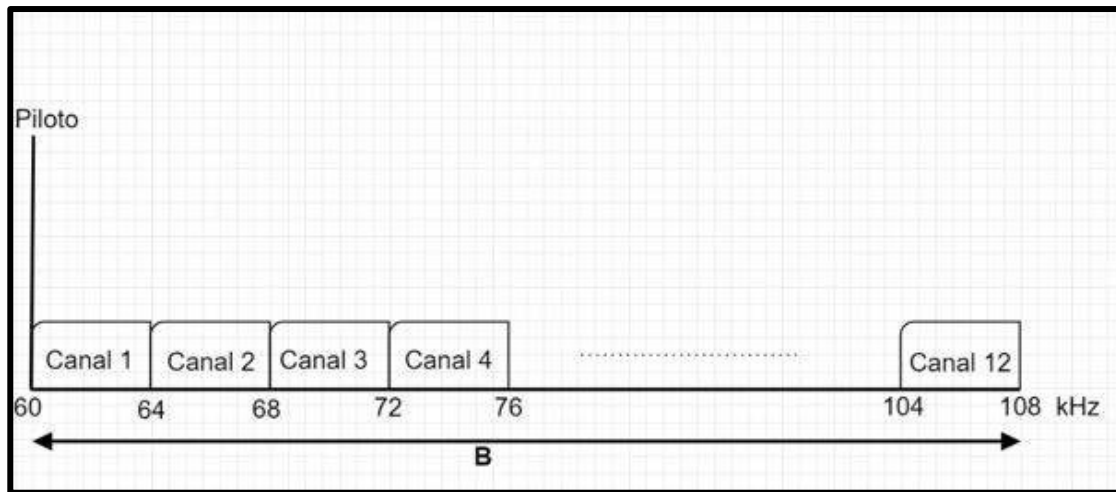


Fig 7-5 – Pacote de 12 canais de voz obtido da saída do bloco MUX Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.3.1.4 Um canal de voz pode comportar até 12 canais telegráficos para uso, por exemplo, de teleimpressores com *modems*, em 12 frequências diferentes de áudio.

7.3.1.5 Os 12 canais de voz formam um grupo. Ao se aumentar a quantidade de canais, formam-se outros grupos. Pelo modelo CCITT, cinco grupos formam um supergrupo e 15 supergrupos formam um grupo mestre (*mastergroup*), mas estes números podem variar.

7.3.2 Para a formação do supergrupo com cinco grupos e saídas “a”, “b”, “c”, “d” e “e”, o gerador fornece subportadoras nas frequências de 420, 468, 516, 564 e 612 kHz para serem moduladas pelos respectivos sinais das saídas. Segue-se a filtragem para obtenção da banda lateral em cada saída: 312-360, 360-408, 408-456, 456-504 e 504-552 kHz.

7.3.3 Para a formação do grupo mestre, o primeiro supergrupo não modula nenhuma subportadora e marca o início da primeira banda lateral: de 312 a 552 kHz.

7.3.3.1 Os demais modulam as subportadoras nas frequências de 1116, 1364, 1612, 1860, 2108, 2356, 2604, 2852, 3100, 3348, 3596, 3844, 4092 e 4340 kHz, que dão origem às seguintes bandas laterais: 564-804, 812-1052, 1060-1300, 1308-1548, 1556-1796, 1804-2044, 2052-2292, 2300-2540, 2548-2788, 2796-3036, 3044-3284, 3292-3532, 3540-3780 e, finalmente, 3788-4028 kHz. Um grupo mestre CCITT pode conter de 300 a 900 canais de voz.

7.3.3.2 A escala de crescimento dos grupos é exibida na Fig 7-6. A banda base de um MUX FDM, com 900 canais de voz, ao modular em FM uma onda portadora do sistema satélite, ocupa todo um transponder de $B = 36 \text{ MHz}$.

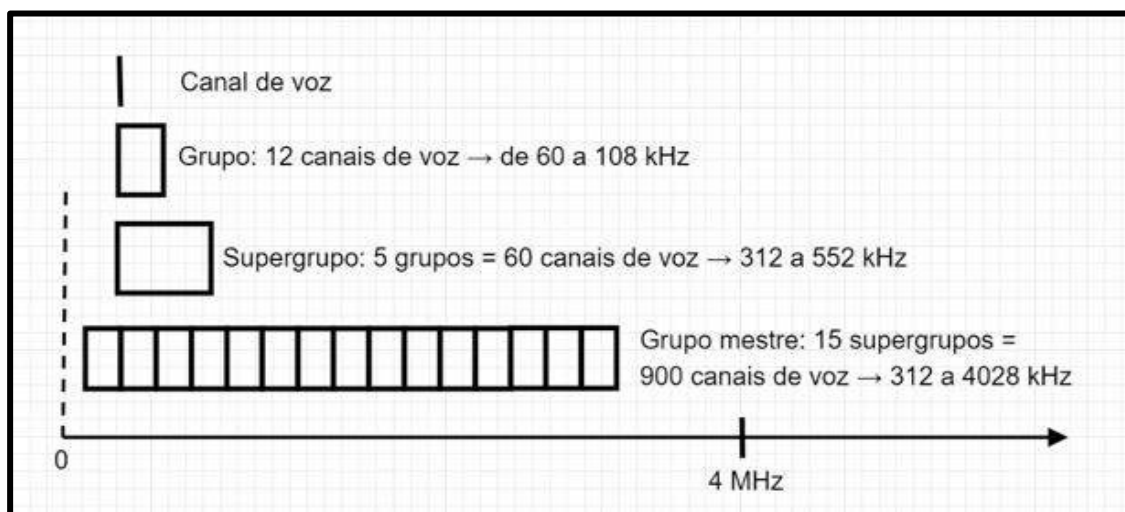


Fig 7-6 – Escala de crescimento dos grupos Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.3.4 DEMULTIPLEXAÇÃO ANALÓGICA

7.3.4.1 O processo de demultiplexação é o inverso daquele efetuado por ocasião da multiplexação FDM e consiste em recuperar cada um dos canais de voz que chegam multiplexados.

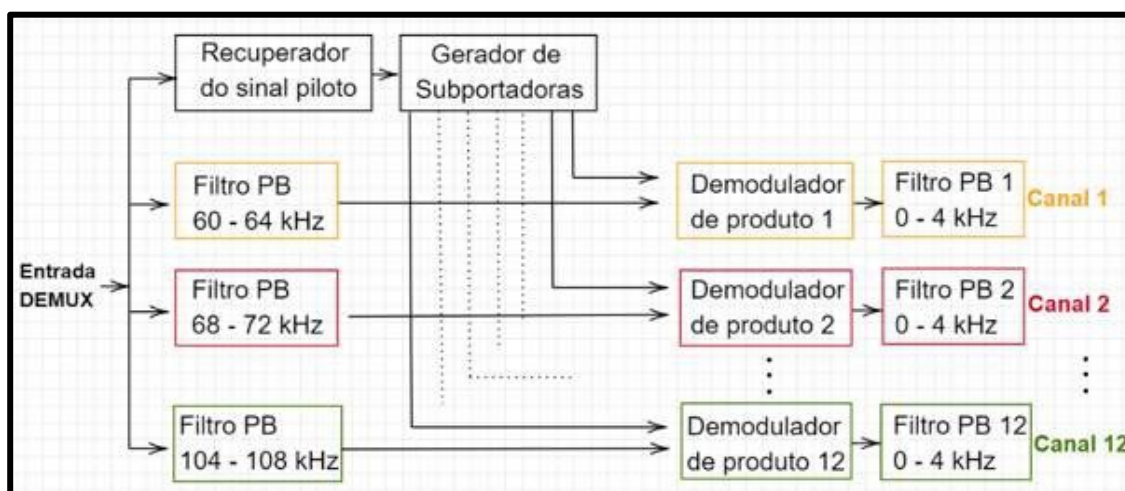


Fig 7-7 – Diagrama de blocos da multiplexação Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.3.4.2 Após a recepção, a onda modulada é demodulada e entregue ao DEMUX. A demultiplexação se processa conforme o diagrama em blocos da Fig 7-7.

7.4 MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE TEMPO (TDM)

7.4.1 A multiplexação TDM (*Time Division Multiplexing*) ou Multiplexação por Divisão de Tempo tem uma concepção mais simples que a analógica FDM. O diagrama em blocos da Fig 7-8 ajuda a entender o seu funcionamento.

7.4.1.1 Inicialmente filtros passa-baixas ou passa-faixa, em cada um dos canais,

limitam a banda passante. Segue-se a amostragem dos sinais, canal por canal, pela ação do comutador, representado por uma chave rotativa em contato com as saídas dos canais. Na prática, o comutador é um circuito eletrônico.

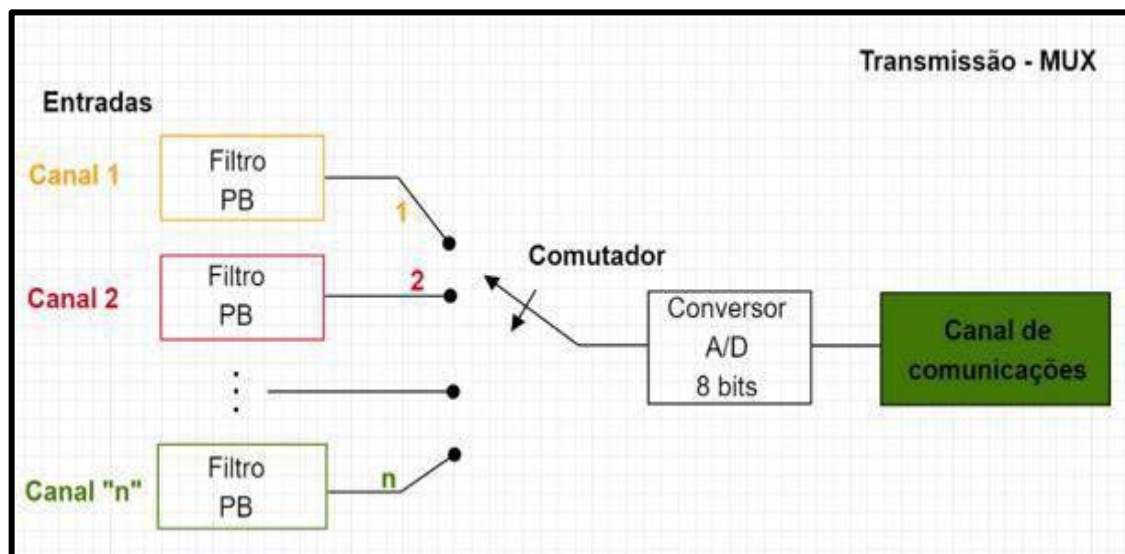


Fig 7-8 – Esquema de multiplexação por divisão de tempo Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.4.1.2 O comutador retira sequencialmente as amostras dos sinais que são encaminhadas ao quantizador/codificador para completar a conversão A/D em PCM (oito bits por amostra). A Fig 7-9, com as formas de onda no domínio do tempo, complementa a explicação.

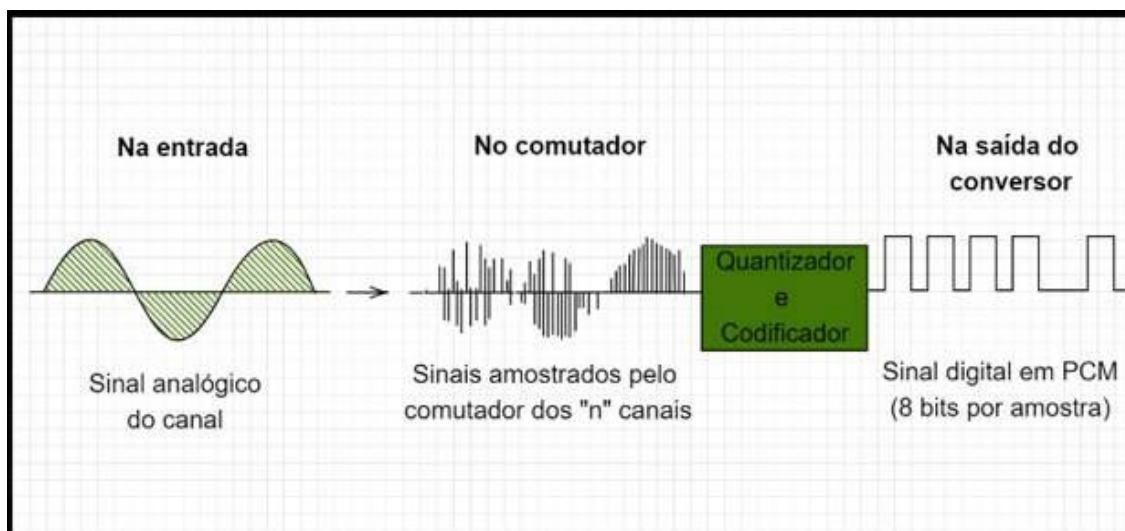


Fig 7-9 – Formas de onda no domínio do tempo Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.4.2 DEMULTIPLEXAÇÃO DIGITAL

7.4.2.1 O diagrama em blocos da Figura 7-10 mostra o lado receptor. O processo de DEMUX é inverso ao da transmissão. O comutador da recepção precisa estar sempre em sincronismo com o comutador da transmissão para manter a correspondência entre os canais.

7.4.2.2 Os 8 bits por amostra, de cada canal, são entregues sequencialmente ao conversor D/A para a restauração das amostras. O comutador entrega amostra por amostra a cada um dos filtros em que o sinal analógico é feito, e os sinais recuperados estão disponíveis nas saídas dos filtros.

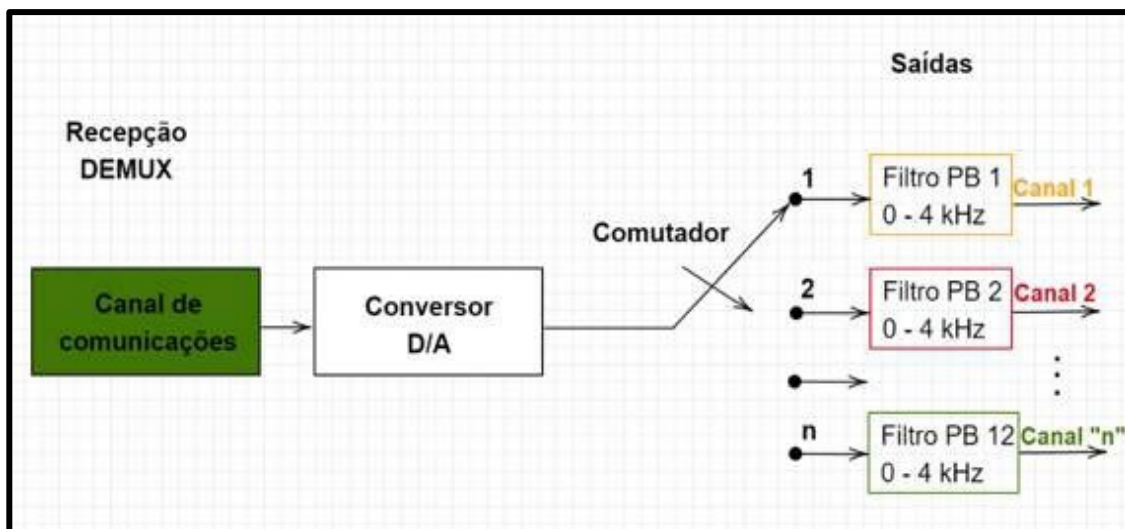


Fig 7-10 – Diagrama de blocos do lado receptor Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.4.2.3 A Fig 7-11 com as formas de onda no domínio do tempo complementa a explicação.

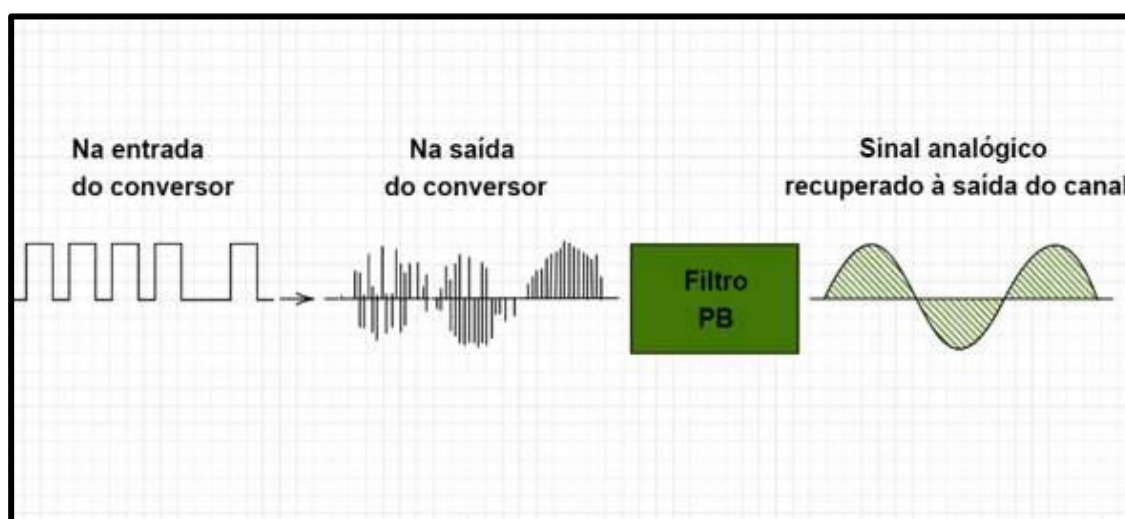


Fig 7-11 – Formas de onda Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.4.3 ADEQUAÇÃO DOS CANAIS EM BANDA PASSANTE

7.4.3.1 Por vezes, as condições de entrada no sistema MUX digital precisam de adequações no circuito para atender às necessidades dos canais em largura da faixa. Assim, suponha um MUX com quatro canais a 5 kHz e um canal que opera a 10 kHz.

7.4.3.2 Para atender à situação, a solução mais simples encontrada está no diagrama em blocos da Fig 7-12: dobrar a frequência de amostragem do canal de 10 kHz, amostrando o canal duas vezes.

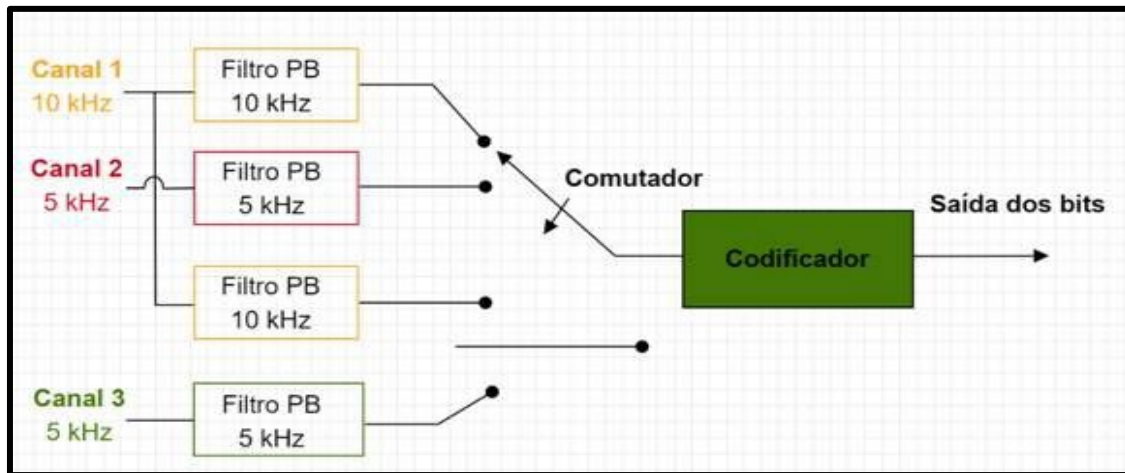


Fig 7-12 – Diagrama de blocos de amostragem dobrada Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.4.4 SISTEMA MUX DIGITAL COM DOIS COMUTADORES

7.4.4.1 Suponha um sistema mais complexo, no qual se deseja multiplexar um número n de canais de banda B simultaneamente a outro de maior banda passante B' . A operação pode ocorrer quando o valor de B' for igual ou um múltiplo inteiro do produto $n B$. Exemplo: seja um MUX de dez canais com $B = 5$ kHz e um canal exclusivo com $B' = 50$ kHz. A operação é compatível porque os 50 kHz de B' equivalem aos 10×5 kHz (canais de menor banda passante).

7.4.4.2 O esquema da Fig 7-13, com dois comutadores em sincronismo, viabiliza a operação.

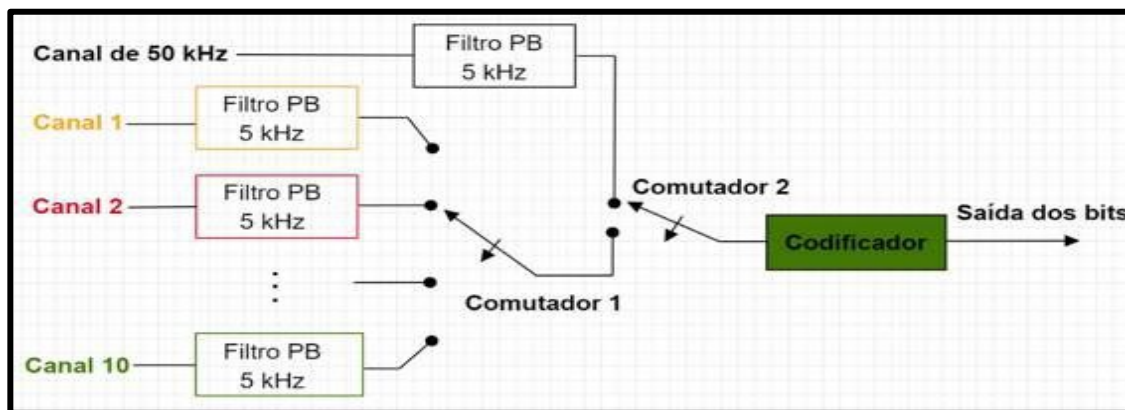


Fig 7-13 – Comutadores em sincronismo Fonte: MEDEIROS, 2016.

7.4.4.1 É fácil entender como funciona o esquema da Figura 7-13 com os dois comutadores em sincronismo. O comutador 2 amostra o sinal do canal de 50 kHz e recebe do comutador 1 as amostras de cada um dos dez canais de 5 kHz. Na saída, obtêm-se os bits ora do comutador 1, ora do comutador 2.

CAPÍTULO VIII

COMUNICAÇÕES POR ONDAS RÁDIO

8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

8.1.1 As comunicações por ondas rádio são um meio de transmissão de informações sem fio, que se utilizam de ondas eletromagnéticas para propagar sinais de voz, dados e imagens. As ondas rádio têm frequências que variam entre 3 kHz e 300 GHz, e são capazes de atravessar diferentes materiais e percorrer longas distâncias sem a necessidade de cabos físicos.

8.1.2 A descoberta das ondas rádio foi feita pelo físico alemão Heinrich Hertz em 1887, após uma série de experimentos que comprovaram a natureza ondulatória da radiação eletromagnética, prevista por James Clerk Maxwell. Poucos anos depois, o italiano Guglielmo Marconi desenvolveu o primeiro transmissor de ondas rádio plenamente funcional, que foi comercializado em meados de 1900.

8.1.3 No início do século XX, a radiodifusão foi uma das principais aplicações das ondas rádio, permitindo que as pessoas ouvissem notícias, músicas e outros programas de entretenimento em suas casas. Com a evolução da tecnologia, surgiram outras aplicações, como a telefonia móvel, que permitiram a comunicação entre pessoas de qualquer lugar do mundo.

8.1.4 As ondas rádio também foram fundamentais para o desenvolvimento da navegação aérea e marítima, permitindo que os navios e aviões se localizassem em alto mar ou em áreas remotas sem a necessidade de referências visuais. Além disso, a comunicação via satélite também é uma aplicação importante das ondas rádio, possibilitando a transmissão de informações para lugares distantes, onde a instalação de infraestrutura terrestre é difícil ou impossível.

8.1.5 Hoje em dia, as comunicações por ondas rádio continuam evoluindo, com o surgimento de tecnologias como o 5G, que promete aumentar a velocidade e a qualidade das comunicações móveis, além de outras aplicações como a internet das coisas (IoT) e a automação industrial.

8.1.6 A importância das ondas rádio para a comunicação global é inegável e a tecnologia continua a se desenvolver, possibilitando novas aplicações e mudando a forma como nos conectamos e nos comunicamos uns com os outros.

8.2 ONDAS

8.2.1 Ondas são perturbações que se propagam no espaço e no tempo, sem que haja transporte de matéria. Essas perturbações podem ocorrer em diversos meios, como o ar, a água e até mesmo o vácuo, e são caracterizadas por sua frequência, sua amplitude, seu comprimento de onda e sua velocidade de propagação.

8.2.2 As ondas podem ser classificadas em diferentes tipos, como ondas mecânicas, que necessitam de um meio material para se propagar, e ondas eletromagnéticas, que se propagam sem a necessidade de um meio material.

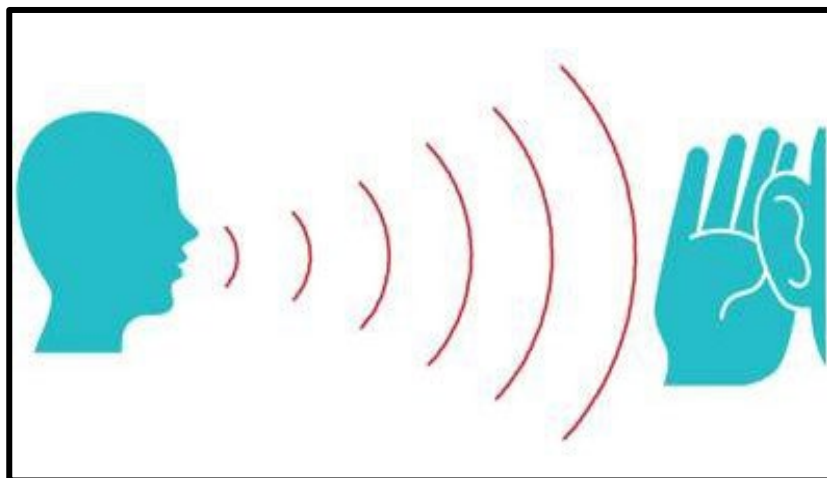


Fig 8-1 – Onda mecânica sonora produzida pelo movimento do ar

8.2.3 Alguns exemplos de ondas mecânicas são as ondas sonoras, as ondas de água e as ondas sísmicas, enquanto as ondas eletromagnéticas incluem as ondas rádio, as ondas de luz e as ondas de raios X.

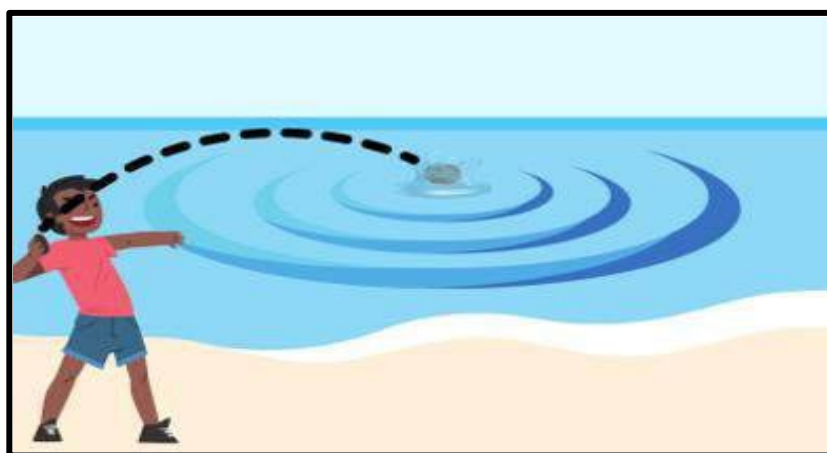


Fig 8-2 – Onda mecânica aquática produzida pelo movimento da água

8.2.4 As ondas são fundamentais para diversas áreas da ciência e tecnologia, como a Física, a Engenharia, a Medicina e as Comunicações.

8.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

8.3.1 As ondas podem ser classificadas de diferentes maneiras, de acordo com suas características físicas e suas propriedades.

8.3.2 Aqui estão algumas das classificações mais comuns: classificação de acordo com a direção de propagação e classificação de acordo com o tipo de oscilação.

8.3.2.1 Classificação de acordo com a direção de propagação

– Podem ser classificadas em unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais, a depender se a propagação ocorre em apenas uma direção (como em uma corda), em duas direções (como em uma onda na superfície da água) ou em todas as direções (como em uma onda de som).

8.3.2.2 Classificação de acordo com o tipo de oscilação

– Podem ser classificadas como transversais ou longitudinais, dependendo da direção da oscilação em relação à direção de propagação. Em ondas transversais, a oscilação é perpendicular à direção de propagação, como em uma onda na superfície da água. Em ondas longitudinais, a oscilação ocorre na mesma direção da propagação, como em uma onda sonora.

8.3.2.3 Classificação de acordo com a natureza da onda

– Podem ser classificadas em ondas eletromagnéticas e em ondas mecânicas.

8.4 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

8.4.1 As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo e são geradas pela oscilação de cargas elétricas. Elas são compostas por um campo elétrico e por um campo magnético que oscilam perpendicularmente um ao outro e à direção de propagação da onda.

8.4.2 O espectro eletromagnético é a faixa de frequências dessas ondas e inclui desde ondas rádio até raios gama, passando por micro-ondas, infravermelho, luz visível e ultravioleta.

8.4.3 As ondas eletromagnéticas têm características únicas, como a sua capacidade de se propagar no vácuo e transportar energia sem a necessidade de um meio material. Além disso, essas ondas têm uma ampla gama de frequências, desde as ondas rádio de baixa frequência até os raios gama de alta frequência.

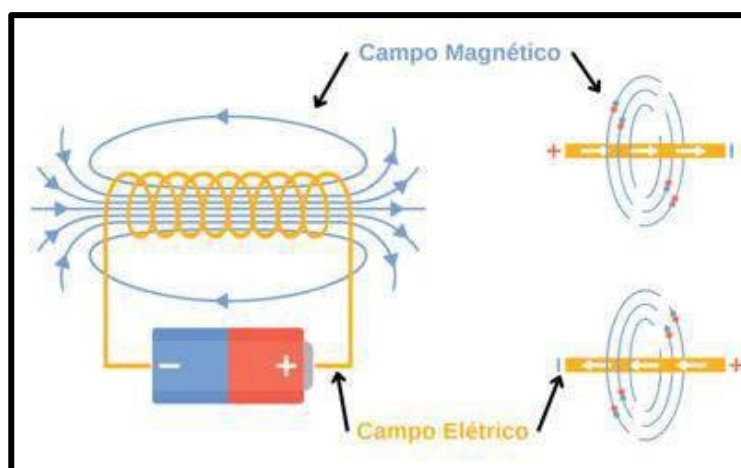


Fig 8-3 – Exemplo de interação entre campos elétricos e magnéticos

8.4.4 As ondas eletromagnéticas são descritas pela equação de Maxwell, que relaciona os campos elétrico e magnético com a velocidade de propagação da onda. Essa equação é uma das principais contribuições de James Clerk Maxwell à física eletromagnética e permitiu o desenvolvimento de diversas aplicações tecnológicas.

8.4.5 A teoria de surgimento das ondas eletromagnéticas é baseada na oscilação de cargas elétricas. Quando uma carga elétrica oscila, ela gera um campo elétrico ao seu redor, que por sua vez gera um campo magnético. Esses campos se propagam pelo espaço como ondas eletromagnéticas.

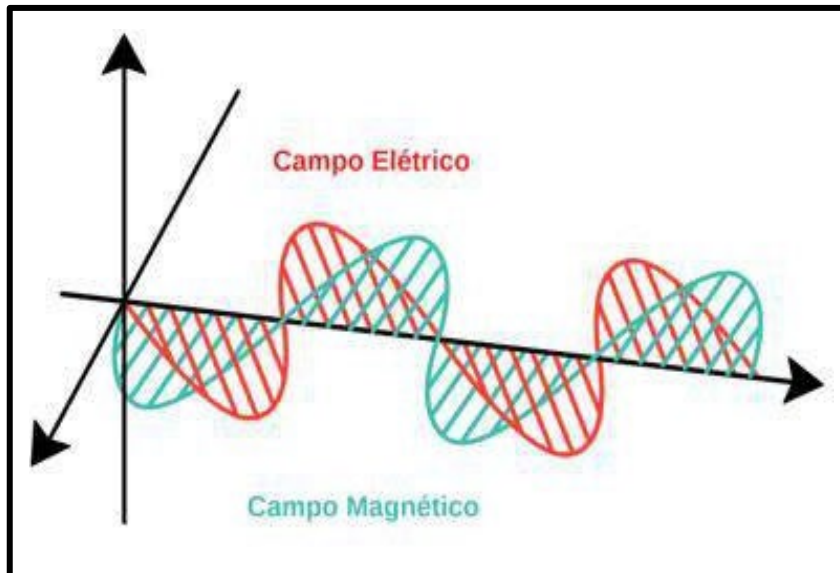


Fig 8-4 – Campos elétrico e magnético das ondas eletromagnéticas

8.4.6 A propagação das ondas eletromagnéticas ocorre de duas maneiras – por meio de ondas de superfície, que se propagam na interface entre dois meios, como a água e o ar, e por meio de ondas espaciais, que se propagam pelo espaço livre. As ondas espaciais podem ser refletidas, refratadas e difratadas, o que permite a sua propagação a longas distâncias.

8.4.7 As ondas eletromagnéticas possuem três componentes principais – frequência de oscilação, comprimento de onda e amplitude. É importante notar que o comprimento de onda e a frequência são grandezas inversamente proporcionais. Isso significa que ondas com frequências mais altas, como raios X e raios gama, apresentam comprimentos de onda muito pequenos.

8.4.8 As ondas eletromagnéticas são amplamente utilizadas em diversas aplicações, como comunicações sem fio, radiodifusão, televisão, radares, sistemas de navegação, imagens médicas, aquecimento por indução, entre outras.

8.4.9 Devido à sua capacidade de se propagar através do vácuo, elas são essenciais em comunicações espaciais, permitindo a transmissão de dados e de imagens entre satélites e a Terra.

8.4.10 Embora as ondas eletromagnéticas tenham muitos usos benéficos, elas também podem ter efeitos negativos na saúde e no meio ambiente, como a exposição

à radiação ionizante, que pode causar danos celulares e câncer; e a interferência eletromagnética, que pode afetar equipamentos eletrônicos sensíveis. Por isso, é importante regular o uso e a exposição a essas ondas.

8.5 COMPONENTES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

8.5.1 As ondas eletromagnéticas são perturbações que se propagam através do espaço na forma de um campo elétrico e de um campo magnético oscilantes, e possuem diversas características que podem ser medidas e descritas. A seguir, são apresentados alguns dos principais componentes das ondas eletromagnéticas.

8.5.2 VELOCIDADE – é a velocidade de propagação da onda eletromagnética através do espaço. Essa velocidade é constante no vácuo e é igual a aproximadamente 300.000.000 metros por segundo (m/s). A luz é um exemplo de onda eletromagnética que se propaga com essa velocidade no vácuo.

8.5.3 FREQUÊNCIA – é o número de ciclos da onda que ocorrem em um segundo. A frequência das ondas eletromagnéticas é medida em Hz. Quanto maior a frequência, maior a quantidade de energia transportada pela onda.

8.5.4 COMPRIMENTO DE ONDA – é a distância entre dois pontos consecutivos da onda. No caso das ondas eletromagnéticas, o comprimento de onda é medido em metros (m), e está relacionado com a frequência, ou seja, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e vice-versa.

8.5.5 A relação matemática entre velocidade, frequência e comprimento de onda das ondas eletromagnéticas é dada pela fórmula:

$$V = \lambda \times f$$

Em que:

V = velocidade de propagação (m/s)

λ = comprimento de onda (m)

f = frequência (Hz)

Qd 8-1 – Relação matemática

8.5.6 Essa relação indica que quanto maior a frequência de uma onda, menor será seu comprimento de onda, mantendo-se constante sua velocidade de propagação.

8.5.7 Período é o tempo necessário para que um ciclo completo da onda seja concluído. O período é o inverso da frequência, ou seja, $T = 1/f$, em que T é o período.

8.5.8 Vale é o ponto mais baixo da onda eletromagnética, onde a perturbação tem o valor mínimo.

8.5.9 Crista é o ponto mais alto da onda eletromagnética, onde a perturbação tem o valor máximo.

8.5.10 Amplitude é a medida da magnitude da oscilação da onda, ou seja, a distância entre o ponto de equilíbrio (onde a perturbação é zero) e a crista ou o vale da onda. A amplitude é diretamente proporcional à energia da onda eletromagnética.

8.5.11 Essas componentes são importantes para descrever as propriedades e o comportamento das ondas eletromagnéticas e são utilizadas em diversos campos da física, como na óptica, na radiologia e nas comunicações.

8.6 CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

8.6.1 As ondas eletromagnéticas são caracterizadas por serem transversais, ou seja, a perturbação que as produz ocorre em uma direção perpendicular à sua direção de propagação. Isso significa que o campo elétrico e a direção de propagação das ondas são perpendiculares entre si.

8.6.2 Uma das principais características das ondas eletromagnéticas é que elas se propagam no vácuo com a mesma velocidade que a luz visível, que é aproximadamente 300.000.000 metros por segundo e é simbolizada pela letra “c”. Essa velocidade é constante e independe da frequência ou do comprimento de onda da onda eletromagnética.

8.6.3 A amplitude das ondas eletromagnéticas está diretamente relacionada à sua intensidade. Quanto maior for a amplitude de uma onda, maior é a perturbação que ela é capaz de produzir. A amplitude é medida a partir da linha de equilíbrio da onda até o seu pico ou vale.

8.6.4 As ondas eletromagnéticas são tridimensionais, ou seja, depois de produzidas, propagam-se igualmente em todas as direções. Isso significa que a onda é capaz de se propagar em todas as direções, formando uma esfera de propagação em torno da fonte emissora.

8.6.5 Quando as ondas eletromagnéticas atravessam meios materiais, como o ar ou a água, sua velocidade de propagação diminui, enquanto o seu comprimento de onda aumenta. Isso ocorre porque a velocidade de propagação da onda depende do meio em que ela está se propagando. No entanto, a frequência da onda não é afetada pela refração, ou seja, ela permanece constante.

8.7 FENÔMENOS DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

8.7.1 Fenômenos das ondas eletromagnéticas são aqueles relacionados à propagação de ondas que possuem campos elétricos e magnéticos oscilantes, perpendiculares entre si e perpendiculares à direção de propagação da onda.

8.7.2 Essas ondas podem se propagar no vácuo e em diferentes meios materiais, como ar, água e materiais sólidos. Alguns exemplos de fenômenos das ondas eletromagnéticas são a reflexão, refração, difração, polarização, interferência e ressonância.

8.7.3 Esses fenômenos são fundamentais para diversas aplicações da tecnologia

moderna, incluindo a transmissão de sinais de rádio, televisão, telefonia celular, internet, entre outras.

8.7.4 O estudo dos fenômenos das ondas eletromagnéticas é importante para entender como a energia eletromagnética é transportada pelo espaço e como pode ser aproveitada em diferentes aplicações tecnológicas.

8.7.5 REFLEXÃO

8.7.5.1 A reflexão de ondas é um fenômeno no qual uma onda encontra uma superfície e retorna ao meio de origem. Esse processo ocorre quando uma onda encontra uma superfície lisa e rígida, como um espelho ou uma parede. Quando a onda encontra essa superfície, ela é refletida, mantendo a velocidade e frequência, mas mudando sua direção.

8.7.5.2 A reflexão de ondas é utilizada em diversas aplicações, como no funcionamento de espelhos e radares. No caso dos espelhos, a reflexão é utilizada para criar imagens, permitindo que objetos sejam visualizados sem a necessidade de estar em contato direto com eles. Já nos radares, a reflexão é utilizada para detectar objetos a distância, como aeronaves e embarcações, permitindo a navegação segura.

8.7.5.3 Além disso, a reflexão de ondas pode ser utilizada para medir a distância entre dois pontos. Isso é possível utilizando-se um pulso de onda que é enviado a um objeto e, em seguida, medindo-se o tempo que leva para o pulso retornar, calculando, assim, a distância percorrida.

8.7.5.4 Cabe destacar que a reflexão de ondas pode ser parcial ou total. No caso da reflexão parcial, apenas uma parte da onda é refletida, enquanto a maior parte continua a se propagar no meio. Já na reflexão total, toda a onda é refletida, sem que haja qualquer perda de energia.

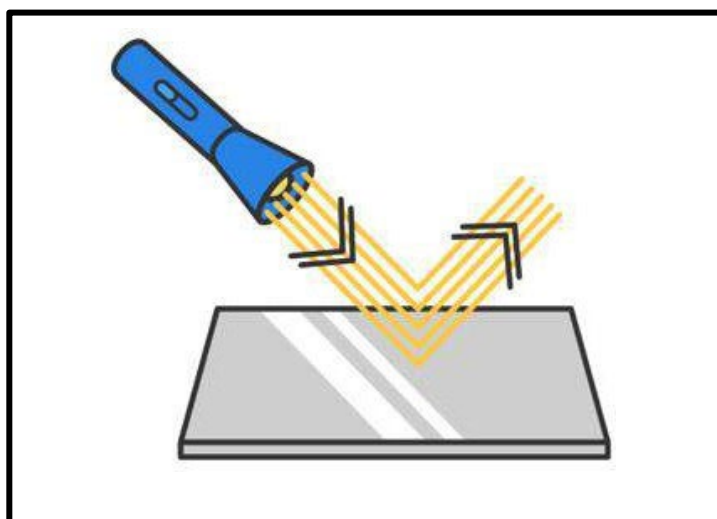


Fig 8-5 – Reflexão de ondas eletromagnéticas

8.7.6 REFRAÇÃO

8.7.6.1 Refração é o fenômeno em que a direção de propagação de uma onda sofre desvio ao passar de um meio para outro, com diferentes índices de refração. O índice de refração é a relação entre a velocidade da onda no vácuo e a velocidade da onda no meio em questão.

8.7.6.2 Quando uma onda incide em um meio com índice de refração diferente, a sua velocidade muda, e a direção de propagação é desviada. Esse desvio é resultante da mudança da velocidade da onda, que é diferente em cada meio, provocando uma alteração no seu comprimento de onda.

8.7.6.3 O ângulo de desvio depende do ângulo de incidência e das propriedades ópticas dos meios envolvidos, como o índice de refração e a densidade dos meios.

8.7.6.4 Um exemplo clássico de refração é a imagem distorcida que se forma quando se olha para dentro de um copo d'água. Nesse caso, a luz que vem do objeto sofre desvio ao passar do ar para a água, o que provoca a distorção da imagem.

8.7.6.5 A refração é também responsável pela formação de arco-íris, quando a luz solar é refratada ao passar pelas gotas de chuva.

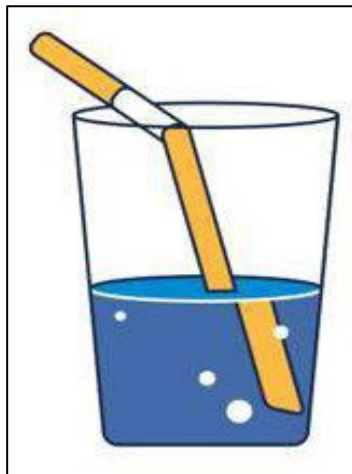


Fig 8-6 – Refração de ondas eletromagnéticas

8.7.7 POLARIZAÇÃO

8.7.7.1 Polarização é o fenômeno em que as ondas eletromagnéticas transversais são filtradas de tal forma que somente suas componentes vibratórias em um determinado plano passam através do filtro. Essas ondas são, então, ditas polarizadas no plano do filtro.

8.7.7.2 A polarização ocorre quando a direção de vibração das ondas eletromagnéticas é filtrada, permitindo que apenas as ondas com uma direção de vibração específica atravessem o filtro. As ondas eletromagnéticas são compostas por campos elétricos e magnéticos oscilantes perpendiculares entre si, e a polarização se refere à direção do campo elétrico em relação à direção de propagação da onda.

8.7.7.3 A polarização é amplamente utilizada em tecnologia de comunicações, incluindo transmissão de televisão e rádio, telefonia celular e sistemas de navegação por satélite. Além disso, a polarização também é utilizada em diversas aplicações ópticas, incluindo microscopia e detecção de luz polarizada.

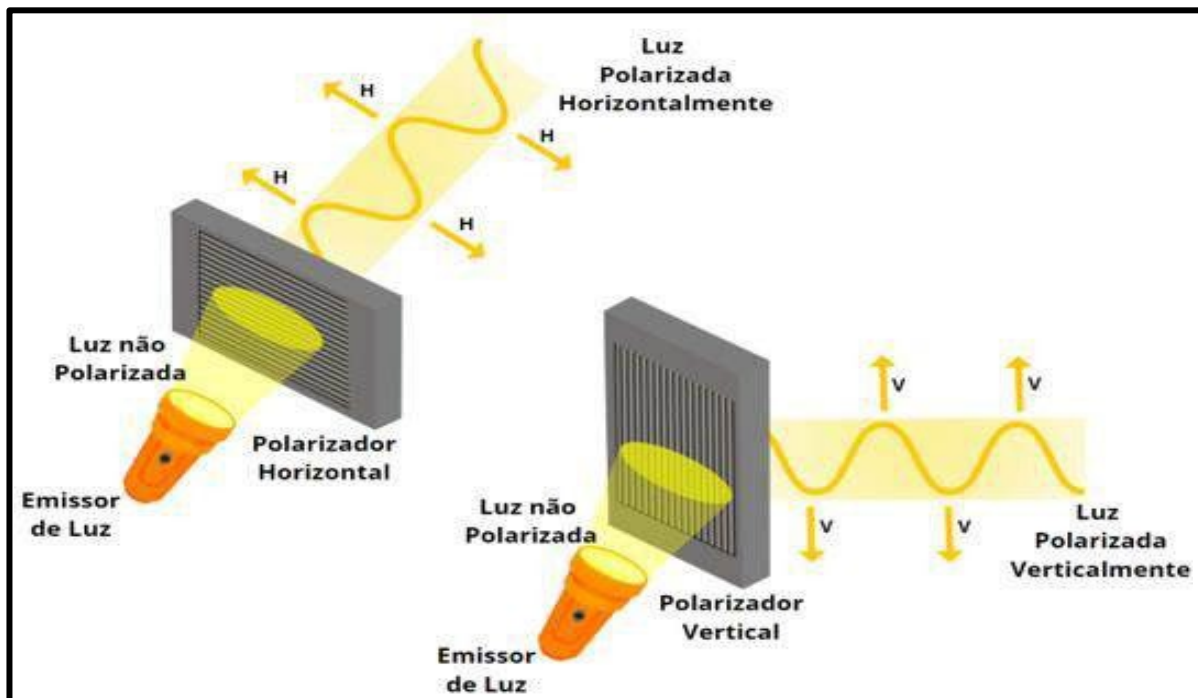


Fig 8-7 – Polarização de ondas eletromagnéticas

8.7.8 DISPERSÃO

8.7.8.1 A dispersão de ondas é um fenômeno que ocorre quando uma onda se propaga em um meio com índices distintos de refração em diferentes frequências. Como resultado, a onda se divide em componentes que se propagam em diferentes velocidades e direções.

8.7.8.2 Um exemplo comum de dispersão é o da luz branca ao passar por um prisma, onde as diferentes cores que compõem a luz se separam em seus comprimentos de onda individuais.

8.7.8.3 A dispersão pode ocorrer em várias formas de ondas, como sonoras e eletromagnéticas.

8.7.8.3.1 Em ondas sonoras, a dispersão pode ser observada em fenômenos naturais, como o som das ondas do mar se dispersando ao atingir uma costa rochosa.

8.7.8.3.2 Já em ondas eletromagnéticas, a dispersão pode ser usada para analisar materiais e suas propriedades.

8.7.8.4 A dispersão é também um importante fenômeno em comunicações ópticas, em que é necessário evitar a dispersão para garantir a transmissão de informações

corretamente.

8.7.8.5 Em outras áreas, como em estudos de terremotos, a dispersão de ondas sísmicas pode ser utilizada para identificar características do subsolo da Terra.

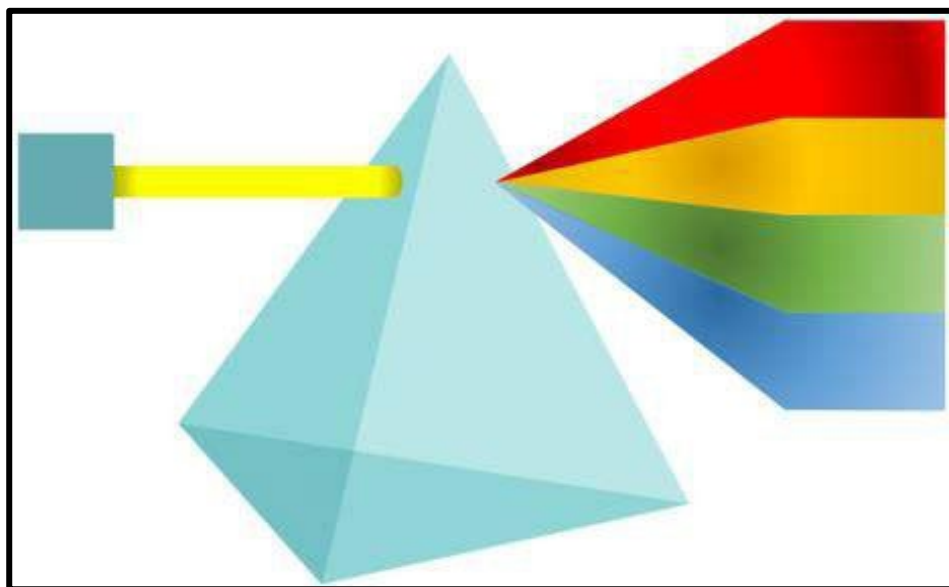


Fig 8-8 – Dispersão de ondas eletromagnéticas

8.7.9 DIFRAÇÃO

8.7.9.1 Difração é um fenômeno que ocorre quando uma onda encontra um obstáculo ou passa por uma abertura. Esse fenômeno faz com que a onda se espalhe em diferentes direções. A difração é um processo comum em várias áreas, como na Física, na Biologia e na Engenharia, e é especialmente importante no estudo das ondas, incluindo as eletromagnéticas, sonoras e mecânicas.

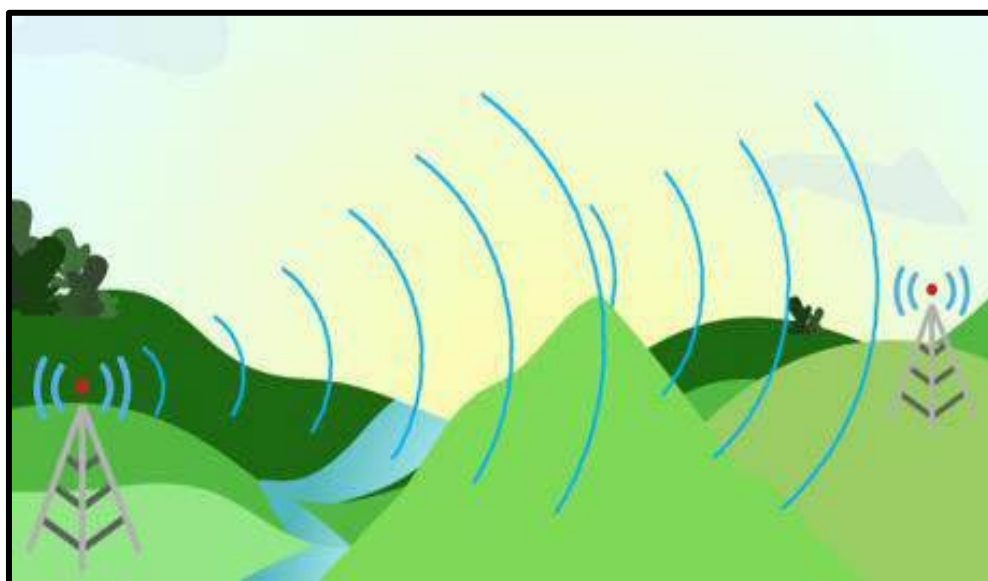


Fig 8-9 – Difração de ondas eletromagnéticas em obstáculo

8.7.9.2 A difração é mais pronunciada quando o obstáculo ou a abertura tem dimensões comparáveis ao comprimento de onda da onda incidente. Isso ocorre

porque, nessa situação, a onda se curva ao redor do obstáculo ou se espalha pela abertura em diferentes direções, criando um padrão de interferência que pode ser observado experimentalmente.

8.7.9.3 Esse padrão de interferência é conhecido como padrão de difração e pode ser analisado matematicamente a partir das equações que descrevem a propagação das ondas.

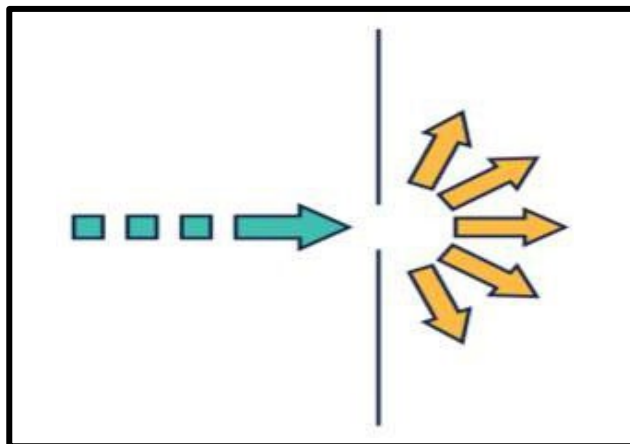


Fig 8-10 – Difração de ondas eletromagnéticas em abertura

8.7.9.4 A difração é um fenômeno importante em várias áreas, como na acústica, na óptica e na engenharia de materiais. Por exemplo, a difração de ondas sonoras é utilizada em sistemas de som para melhorar a qualidade do som em ambientes fechados, enquanto a difração de ondas eletromagnéticas é utilizada em antenas para direcionar o sinal de transmissão em uma direção específica.

8.7.9.5 A difração também é importante em materiais cristalinos, onde pode ser utilizada para determinar a estrutura atômica e molecular do material a partir da análise do padrão de difração de raios X.

8.7.10 INTERFERÊNCIA

8.7.10.1 A interferência de ondas é um fenômeno ondulatório em que duas ou mais ondas se encontram e se combinam, produzindo um padrão de intensidades variáveis. Isso ocorre quando as ondas estão no mesmo meio eletromagnético e suas frequências e seus comprimentos de onda são iguais ou semelhantes.

8.7.10.2 Dependendo da fase em que as ondas se encontram, podem se somar (interferência construtiva), produzindo uma intensidade maior, ou se cancelar (interferência destrutiva), produzindo uma intensidade menor ou nula.

8.7.10.3 Um exemplo comum de interferência de ondas é a música em um ambiente com várias caixas de som. Se as ondas sonoras emitidas por cada caixa estiverem em fase, ou seja, as cristas e os vales das ondas estiverem se encontrando ao mesmo tempo, ocorrerá interferência construtiva e a música será ouvida mais alta e clara. Porém, se as ondas estiverem fora de fase, ocorrerá interferência destrutiva e a música será ouvida com menor intensidade ou com partes inaudíveis.

8.7.10.4 A interferência de ondas também é utilizada em tecnologias como a holografia

e a espectroscopia, permitindo a produção de imagens tridimensionais e a análise da composição química de materiais.

8.7.11 RESSONÂNCIA

8.7.11.1 A ressonância é um fenômeno que ocorre quando uma onda atinge a frequência natural de oscilação de um objeto ou sistema, levando a um aumento significativo da amplitude da onda. Isso ocorre porque a onda transfere energia para o objeto, fazendo com que ele vibre em sua frequência natural de oscilação, o que por sua vez aumenta a amplitude da onda.

8.7.11.2 Um exemplo comum de ressonância é quando uma pessoa se movimenta em um balanço. Se a pessoa empurrar o balanço no momento correto, a frequência da força aplicada se iguala à frequência natural do balanço, causando um aumento da amplitude do movimento.

8.7.11.3 Outro exemplo é o som de um violino, em que as cordas do instrumento são colocadas em ressonância com a caixa de ressonância, amplificando o som produzido.

8.7.11.4 A ressonância pode ser benéfica ou prejudicial, dependendo do contexto. Em algumas situações, a ressonância pode ser desejada, como no caso de instrumentos musicais, em que se busca amplificar o som produzido.

8.7.11.5 No entanto, em outras situações, a ressonância pode ser prejudicial, como no caso de uma ponte ou de um edifício que começa a vibrar em sua frequência natural de oscilação devido à passagem de um vento forte, o que pode levar à sua destruição.

8.8 ESPECTRO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

8.8.1 O espectro eletromagnético é uma escala que representa uma ampla gama de radiações eletromagnéticas, dividida em sete tipos de ondas – ondas rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama.

8.8.2 Cada tipo de onda eletromagnética tem uma frequência e um comprimento de onda específicos, e todas se propagam na mesma velocidade da luz, exceto pela luz visível, que é a única que podemos ver a olho nu.

8.8.3 O espectro eletromagnético é medido pela frequência e pelo comprimento de onda de cada tipo de onda, e a intensidade delas é distribuída em diferentes faixas do espectro.

8.8.4 O espectro de luz visível é colorido porque cada cor está associada a uma frequência específica de onda, e as ondas mais longas aparecem próximas ao vermelho, enquanto as mais curtas aparecem próximas ao azul.

8.8.5 As ondas de frequência mais baixa têm comprimentos de onda mais longos, enquanto as de frequência mais alta têm comprimentos mais curtos.

Tipo de Onda	Comprimento Onda (Centímetros - cm)	Frequência (Hertz - Hz)	Energia (Elétron-volt - eV)
Rádio	maior que 10	menor que 3×10^9	menor que 10^{-5}
Micro-ondas	$10 - 10^{-2}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 10^{-2}$
Infravermelho	$10^{-2} - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$10^{-2} - 2$
Visível	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	2 - 3
Ultravioleta	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	3 - 10^3
Raios X	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	menor que 10^{-9}	maior que 3×10^{19}	maior que 10^5

Tab 8-1 – Escalas de frequência, comprimento de onda e energia do espectro eletromagnético

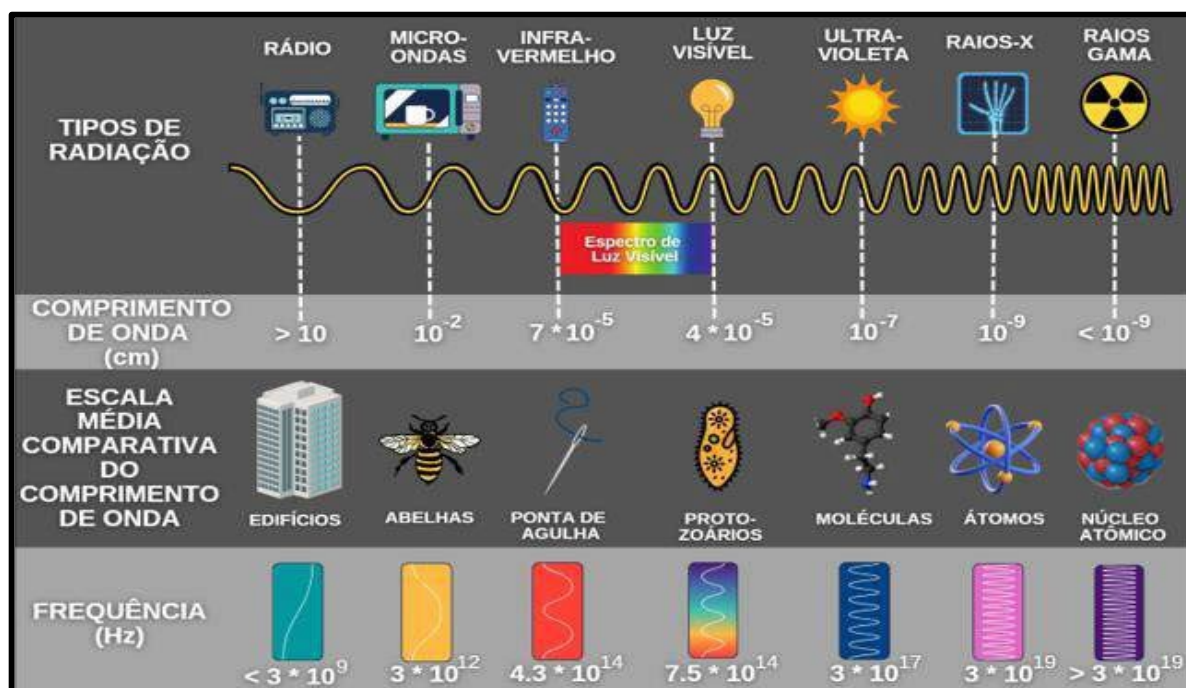


Fig 8-11 – Espectro eletromagnético

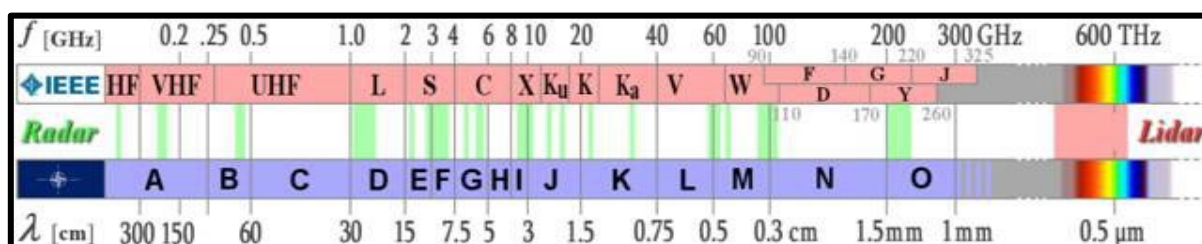


Fig 8-12 – Espectro eletromagnético destacando as padronizações das frequências nas respectivas faixas, com os padrões IEEE na porção superior, as faixas de frequências utilizadas por radares em verde, ao centro, e, na porção mais inferior ao gráfico, a padronização das faixas conforme classificação da OTAN. Disponível em: <https://www.radartutorial.eu/07.waves/wa04.pt.html>. Acesso em 04 Jul 23.

8.8.6 RÁDIO

8.8.6.1 As ondas rádio são ondas eletromagnéticas que possuem a menor frequência e o maior comprimento de onda no espectro. Elas são amplamente utilizadas para a transmissão de informações, como em transmissões de rádio, televisão, comunicações de satélites e telefones celulares.

8.8.6.2 As ondas rádio são menos energéticas do que outras ondas eletromagnéticas, o que permite que elas sejam usadas em comunicações de longa distância sem causar danos aos seres vivos.

8.8.7 MICRO-ONDAS

8.8.7.1 As micro-ondas possuem frequências um pouco mais altas do que as ondas rádio e comprimentos de onda menores. Elas são usadas em tecnologias de comunicação de alta velocidade, como em redes de internet sem fio e em telefonia celular.

8.8.7.2 As micro-ondas também são utilizadas em aparelhos de cozinha, como fornos de micro-ondas, para aquecer e cozinhar alimentos.

8.8.8 INFRAVERMELHO

8.8.8.1 O infravermelho está localizado no centro do espectro eletromagnético, próximo à luz visível. Embora invisível aos nossos olhos, o infravermelho é sentido na forma de calor.

8.8.8.2 Ele é amplamente utilizado em aplicações de aquecimento, como em fornos e aquecedores. Além disso, é também usado em equipamentos de visão noturna, como binóculos e câmeras.

8.8.9 LUZ VISÍVEL

8.8.9.1 A luz visível é a única onda eletromagnética que pode ser vista a olho nu e é responsável pela percepção de cores pelos nossos olhos. Ela é composta por várias cores, cada uma com sua própria frequência e seu próprio comprimento de onda.

8.8.9.2 A luz branca é uma mistura de todas as cores visíveis, enquanto a ausência de luz é percebida como preto.

8.8.10 ULTRAVIOLETA

8.8.10.1 Logo após a luz visível, estão os raios ultravioletas, que são invisíveis aos nossos olhos, mas podem ser percebidos pelos efeitos que têm sobre a pele.

8.8.10.2 A exposição excessiva aos raios ultravioletas pode causar queimaduras, envelhecimento prematuro da pele e câncer de pele.

8.8.10.3 No entanto, os raios ultravioletas também são usados em aplicações de esterilização, como em hospitais e na produção de alimentos.

8.8.11 RAIOS X

8.8.11.1 Os raios X possuem frequências ainda mais elevadas do que os raios ultravioletas e são usados em exames de diagnóstico médico, como radiografias e tomografias.

8.8.11.2 Eles são capazes de penetrar em tecidos moles do corpo humano, permitindo a visualização de ossos e órgãos internos.

8.8.12 RAIOS GAMA

8.8.12.1 No extremo oposto do espectro, estão as ondas de raios gama, que possuem a maior frequência e o menor comprimento de onda entre as ondas eletromagnéticas.

8.8.12.2 Eles são altamente energéticos e são produzidos por explosões de estrelas e por colisões de partículas no espaço.

8.8.12.3 Os raios gama são usados em aplicações médicas e científicas para esterilização de equipamentos médicos e para análise de materiais. Eles também são usados na medicina nuclear para o tratamento do câncer.

8.9 ONDAS RÁDIO

8.9.1 As ondas rádio são um tipo de radiação eletromagnética que possuem um comprimento de onda maior e uma frequência menor do que a radiação infravermelha. Elas viajam à velocidade da luz no vácuo e podem ser geradas naturalmente por raios ou objetos astronômicos. Além disso, elas também podem ser produzidas artificialmente para inúmeras aplicações, como radiodifusão, telefonia móvel, comunicação via satélite, entre outras.

8.9.2 Também conhecidas como ondas hertzianas ou ondas de radiofrequência, as ondas rádio são geradas por correntes elétricas que oscilam rapidamente em um condutor, como uma antena. Elas são utilizadas em diversos sistemas de navegação, como o radar e as redes de computadores.

8.9.3 Fisicamente, as ondas rádio compartilham das mesmas propriedades de outras ondas eletromagnéticas, como a luz e a radiação infravermelha. Elas se propagam no espaço de forma transversal e são afetadas por fenômenos como reflexão, refração e difração.

8.10 PROPAGAÇÃO DAS ONDAS RÁDIO

8.10.1 A propagação das ondas rádio é o modo pelo qual essas ondas eletromagnéticas se deslocam entre duas posições distintas. A propagação pode ocorrer de forma direta, quando o receptor enxerga o transmissor em qualquer ambiente, ou indireta, por meio da reflexão, refração sucessiva ou difração.

8.10.2 As ondas rádio podem se propagar nos meios físico, sólido, líquido, gasoso, no vácuo e no plasma. O tipo de propagação varia de acordo com as condições do ambiente, como altitude, temperatura, umidade, presença de obstáculos e de acordo com as características das ondas, como frequência, comprimento de onda e polarização.

8.10.3 DIRETA

8.10.3.1 A propagação direta das ondas rádio ocorre quando não há obstáculos entre o transmissor e o receptor, permitindo que elas sejam transmitidas em linha reta e sejam recebidas com boa intensidade. Esse tipo de propagação é comum em áreas com visada direta, como em transmissões de rádio e TV por satélite, em que o sinal é enviado para o satélite e, em seguida, retransmitido para a Terra.

8.10.3.2 Também é comum em transmissões de rádio e TV em áreas urbanas sem obstáculos, em que as antenas estão em pontos elevados e com boa visibilidade para os receptores.

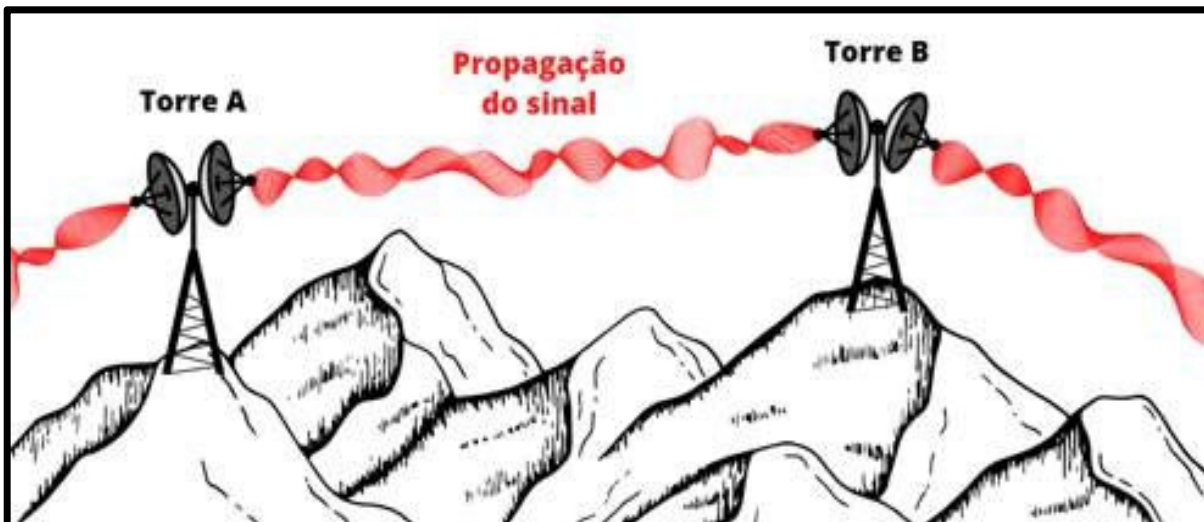


Fig 8-13 – Propagação em visada direta

8.10.4 INDIRETA

8.10.4.1 A propagação indireta das ondas rádio ocorre quando as ondas não seguem uma linha de visada direta entre o transmissor e o receptor, mas são desviadas ou refletidas por obstáculos como prédios, montanhas, nuvens etc.

8.10.4.2 Existem diferentes tipos de propagação indireta, incluindo propagação por reflexão, propagação por difração, propagação por espalhamento, propagação ionosférica, propagação troposférica e propagação indireta.

8.10.4.2.1 Propagação por reflexão – as ondas são refletidas por um obstáculo e chegam ao receptor depois de várias reflexões em diferentes direções.

8.10.4.2.2 Propagação por difração – as ondas contornam um obstáculo, ao redor de uma borda ou por meio de uma abertura, e chegam ao receptor.

8.10.4.2.3 Propagação por espalhamento – as ondas são espalhadas por pequenos obstáculos no caminho e chegam ao receptor por várias direções.

8.10.4.2.4 Propagação ionosférica – as ondas são refletidas pela camada superior da atmosfera, a ionosfera, e retornam à Terra em outro local.

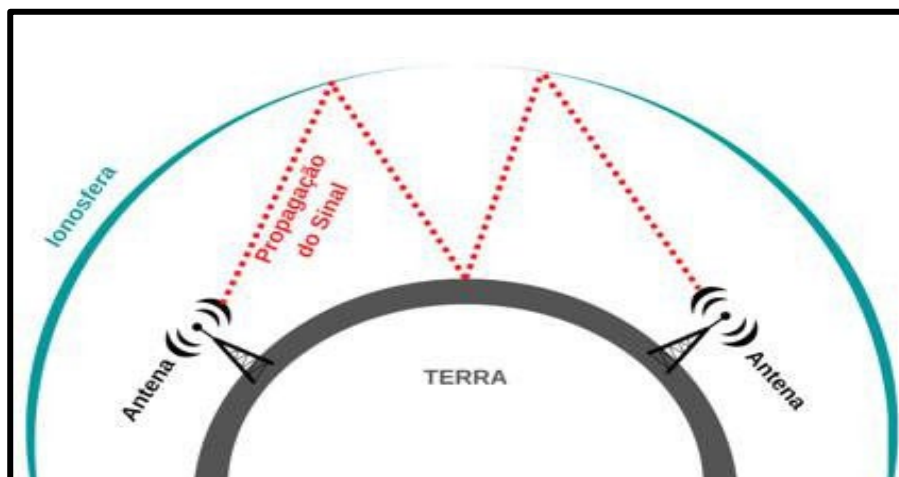


Fig 8-14 – Propagação ionosférica

8.10.4.2.5 Propagação troposférica – as ondas são refletidas pela camada inferior da atmosfera, a troposfera, que é afetada por variações de temperatura e pressão.

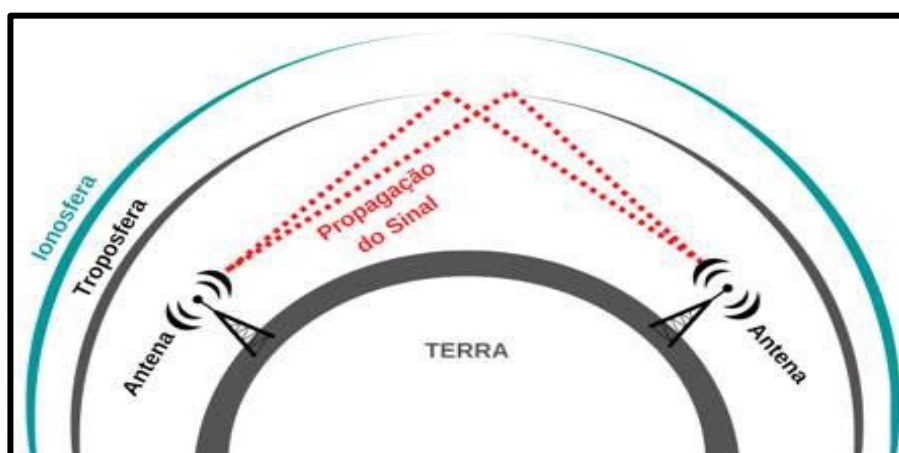


Fig 8-15 – Propagação troposférica

8.10.4.3 A propagação indireta é influenciada pela frequência das ondas, altura das antenas, força do sinal, localização geográfica e condições meteorológicas.

8.11 ESPECTRO DAS ONDAS RÁDIO

8.11.1 O espectro das ondas rádio é a faixa de frequência que varia de 3 kHz a 3000 GHz e abrange as ondas rádio. As correntes elétricas que oscilam na frequência de rádio possuem propriedades especiais que não são encontradas em correntes contínuas ou alternadas de baixas frequências.

8.11.2 As correntes em frequências de rádio podem radiar energia para fora do condutor, no espaço, através de ondas eletromagnéticas. Isso é a base da tecnologia

de rádio. Além disso, elas não penetram profundamente em condutores elétricos e, por isso, fluem ao longo da superfície, o que é conhecido como efeito skin.

8.11.3 As correntes em frequências de rádio podem facilmente ionizar o ar, criando um caminho condutor nele. Essa propriedade é explorada pelas unidades de "alta frequência" usadas em soldas de arco que utilizam correntes em frequências mais altas do que a fornecida por sua fonte de alimentação.

8.11.4 Quando conduzida por um cabo elétrico comum, a corrente em frequência de rádio tem uma tendência a refletir nas extremidades do cabo, como os conectores, e retornar de volta ao cabo em direção à fonte, causando uma condição chamada de ondas estacionárias. Esse efeito pode ser evitado com o uso de cabos especiais chamados linhas de transmissão.

8.11.5 BANDAS DE FREQUÊNCIAS RÁDIO

Frequência	Comprimento de onda	Designação	Abreviatura
3 - 30 Hz	$10^5 - 10^4$ km	<i>Extremely low frequency</i>	ELF
30 - 300 Hz	$10^4 - 10^3$ km	<i>Super low frequency</i>	SLF
300 - 3000 Hz	$10^3 - 100$ km	<i>Ultra low frequency</i>	ULF
3 - 30 kHz	100 - 10 km	<i>Very low frequency</i>	VLF
30 - 300 kHz	10 - 1 km	<i>Low frequency</i>	LF
300 kHz - 3 MHz	1 km - 100 m	<i>Medium frequency</i>	MF
3 - 30 MHz	100 - 10 m	<i>High frequency</i>	HF
30 - 300 MHz	10 - 1 m	<i>Very high frequency</i>	VHF
300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	<i>Ultra-high frequency</i>	UHF
3 - 30 GHz	10 - 1 cm	<i>Super high frequency</i>	SHF
30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm	<i>Extremely high frequency</i>	EHF
300 GHz - 3000 GHz	1 mm - 0.1 mm	<i>Tremendously high frequency</i>	THF

Tab 8-2 - Bandas de frequências de ondas rádio

8.11.6 A divisão do espectro das ondas rádio é conhecida como divisão das faixas de bandas de frequência.

8.12 FAIXA DE HF

8.12.1 A faixa de Alta Frequência (HF - High Frequency), também conhecida como ondas curtas ou ondas decamétricas, é uma das principais faixas de frequência utilizadas em radiocomunicação.

8.12.2 Essa faixa de frequência se estende de 3 MHz a 30 MHz e é utilizada para transmissão de sinais de rádio de longa distância, geralmente para comunicações entre continentes ou regiões muito distantes.

8.12.3 O princípio de funcionamento das ondas de HF se baseia na reflexão das ondas pela ionosfera, que é uma camada de íons na atmosfera que atua como um espelho para as ondas de rádio.

8.12.4 Existem dois tipos principais de ondas de HF – as ondas de superfície, que se propagam pela superfície da Terra, e as ondas ionosféricas, que são refletidas pela ionosfera.

8.12.5 As ondas de superfície são usadas para comunicações de curta distância, enquanto as ondas ionosféricas são usadas para comunicações de longa distância.

8.12.6 As ondas de HF são utilizadas em uma variedade de aplicações, incluindo radiodifusão, comunicações militares, navegação marítima e aeronáutica, além de comunicações de emergência em situações de desastres naturais. A faixa de HF é especialmente útil em áreas remotas ou em situações nas quais outras formas de comunicação não estão disponíveis.

8.12.7 Uma das principais vantagens das ondas de HF é sua capacidade de se propagar por longas distâncias, permitindo a comunicação em áreas remotas ou isoladas.

8.12.8 No entanto, as ondas de HF também têm algumas desvantagens, como a interferência de outras fontes de rádio e a degradação do sinal em condições atmosféricas desfavoráveis.

8.12.9 Um fenômeno que surge na faixa de HF é a “zona de silêncio”, uma região limitada pelo alcance final da onda de superfície e o alcance inicial da onda ionosférica.

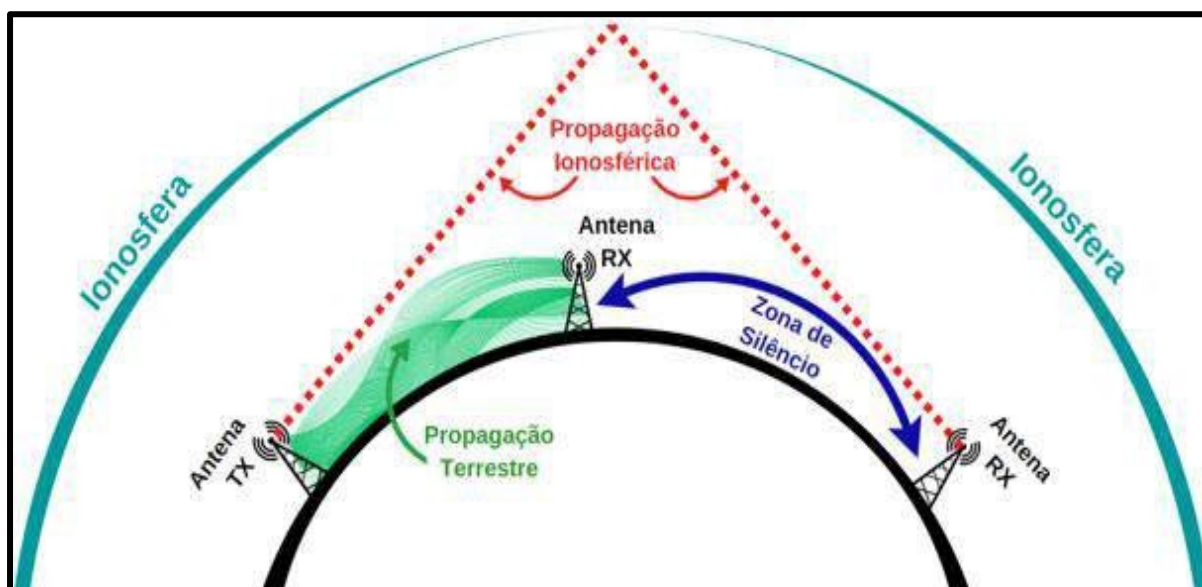


Fig 8-16 – Zona de silêncio

8.12.10 O emprego das ondas em HF exige o rigoroso estudo das condições de propagação, para a seleção adequada de frequências para o período do dia e da noite, que variarão conforme a localização dos postos de transmissão e recepção (coordenadas geográficas – latitude e longitude) e as condições atmosféricas vigentes no momento da transmissão/recepção. Vale ressaltar que a constituição da ionosfera

varia com a hora, com a estação do ano e com a atividade solar.

8.12.11 Durante o dia, a incidência solar é maior, isto aumenta a densidade eletrônica da ionosfera. Consequentemente, durante à noite, a densidade eletrônica da ionosfera é menor. A melhor frequência em HF para um dado enlace irá variar de acordo com as condições ionosféricas entre o posto transmissor e o posto receptor.

8.12.12 O planejamento das frequências de transmissão HF para enlaces a grandes distâncias com ondas de rádio via ionosfera deve obrigatoriamente dispor de, no mínimo, três frequências de utilização para um enlace de 24 horas, com pelo menos uma frequência ótima para o horário da manhã, outra para o horário da tarde e uma terceira para o horário da noite.

8.12.13 As seleções de frequência em HF para um enlace podem ser pesquisadas em programas ou serviços de previsão de propagação de radiocomunicações. (Exemplo: VOACAP On Line - www.voacap.com/hf).

8.12.14 A frequência máxima de utilização (**MUF**) é o valor máximo de frequência em HF que pode ser usado para um dado enlace. Frequências acima da MUF para uma comunicação entre dois postos num dado período do dia ou da noite podem fazer com que as transmissões varem a ionosfera ou, ainda, que a reflexão ionosférica jogue a onda de rádio muito além do local do receptor.

8.12.15 A mínima frequência de utilização (**LUF**) marca o limite inferior da banda para a seleção de frequência a ser utilizada entre o transmissor e o receptor. A LUF é aquela a seguir da qual a absorção das camadas da atmosfera é excessiva, tornando antieconômica a necessidade de potência a ser irradiada.

8.12.16 A frequência ótima de trabalho (**FOT**) é definida como 85% da MUF. Este limite de 85% permite uma certa margem de segurança com relação às irregularidades e variações da ionosfera, durante o dia.

8.12.17 Tanto quanto possível, a frequência usada deverá sempre ser a mais alta permitida (de preferência a FOT), de forma a reduzir as perdas por absorção.

8.12.18 A comunicação a longa distância, por meio das ondas ionosféricas, é feita normalmente em HF e por um salto, podendo em alguns casos ter dois saltos ou mais.

8.13 FAIXA DE VHF

8.13.1 A Faixa de Frequência Muito Alta (VHF - *Very High Frequency*), também conhecida como ondas métricas, é uma das faixas mais comuns utilizadas para comunicação de rádio.

8.13.2 A Faixa de VHF é definida como a faixa de frequência que varia de 30 a 300 MHz.

8.13.3 É utilizada principalmente para comunicações de rádio terrestres, incluindo comunicações móveis, comunicações de aeronaves e sistemas de navegação.

8.13.4 A principal característica da VHF é sua capacidade de propagar sinais de rádio em linha de visada, ou seja, sem obstáculos físicos no caminho. Isso significa que a faixa de VHF é eficaz para comunicação de curta distância.

8.13.5 As ondas utilizadas nos enlaces VHF são chamadas de ondas diretas ou ondas em linha de visada. Isso significa que essas ondas se propagam diretamente entre o transmissor e o receptor.

8.13.6 As características da faixa de VHF incluem um alcance limitado em relação às frequências mais baixas (como as frequências de onda curta - HF), mas com a vantagem de oferecer maior clareza de som e imagem.

8.13.7 No mais, as ondas VHF são mais direcionais, permitindo que um sinal seja direcionado em uma direção específica com maior precisão.

8.13.8 As vantagens da faixa de frequência VHF incluem sua capacidade de penetrar em edifícios e terrenos com pouca perda de sinal, o que a torna ideal para uso em ambientes urbanos e suburbanos.

8.13.9 Além disso, a VHF é menos afetada pela interferência de outros dispositivos eletrônicos do que outras faixas de frequência.

8.13.10 No entanto, uma das desvantagens da VHF é que ela é suscetível à interferência causada por condições meteorológicas e obstáculos naturais, como colinas e montanhas.

8.13.11 A capacidade de transmissão de dados de VHF é relativamente limitada em comparação com outras faixas de frequência, como UHF e micro-ondas.

8.13.12 A principal razão para essa limitação é a largura de banda limitada disponível na faixa de VHF

8.13.13 Além disso, a VHF não é tão eficaz quanto as frequências mais baixas para cobrir grandes distâncias e não é capaz de penetrar em obstáculos densos, como paredes grossas ou árvores densas.

8.14 FAIXA DE UHF

8.14.1 A Faixa de Frequência Ultra (UHF - *Ultra-high Frequency*) é uma faixa de frequência de ondas eletromagnéticas entre 300 MHz e 3 GHz.

8.14.2 Essa faixa de frequência é utilizada em várias aplicações, como transmissões de televisão, rádio e comunicações de satélite, além de ser amplamente usada em tecnologias sem fio, como *Wi-Fi*, *Bluetooth*, entre outras.

8.14.3 As características das transmissões UHF incluem alta frequência e curto alcance.

8.14.4 Ela é ideal para transmissões de curta distância, pois as ondas de UHF são

facilmente absorvidas por obstáculos, como paredes e prédios. Isso significa que as transmissões de UHF são mais adequadas para uso em espaços abertos, como áreas rurais e urbanas abertas.

8.14.5 As UHF também são propagadas por meio de ondas diretas ou ondas em linha de visada, propagando-se diretamente em linha reta entre o transmissor e o receptor.

8.14.6 As vantagens das transmissões UHF incluem alta qualidade de sinal e menor interferência. O UHF oferece maior largura de banda em comparação com outras faixas de frequência, o que permite taxas de dados mais altas.

8.14.7 Além disso, o UHF é menos suscetível a interferências devido à sua alta frequência e ao seu curto alcance.

8.14.8 As desvantagens das transmissões UHF incluem a necessidade de amplificação de sinal para longas distâncias e a limitação de alcance. Como as ondas de UHF são facilmente absorvidas por obstáculos, como paredes e prédios, as transmissões de UHF têm um alcance limitado.

8.14.9 A demais, para transmissões de longa distância, é necessário amplificar o sinal, o que pode causar problemas de interferência.

8.14.10 A principal diferença entre a faixa de VHF e de UHF é a faixa de frequência em que operam.

8.14.11 A faixa de VHF vai de 30 MHz a 300 MHz, enquanto a de UHF vai de 300 MHz a 3 GHz. Isso significa que as ondas de VHF têm comprimentos de onda mais longos do que as ondas de UHF.

8.14.12 Desse modo, as ondas de VHF são mais adequadas para transmissões de longa distância, enquanto as de UHF são mais adequadas para transmissões de curta distância, porém, possuem maior largura de banda (maior capacidade de transmissão de dados).

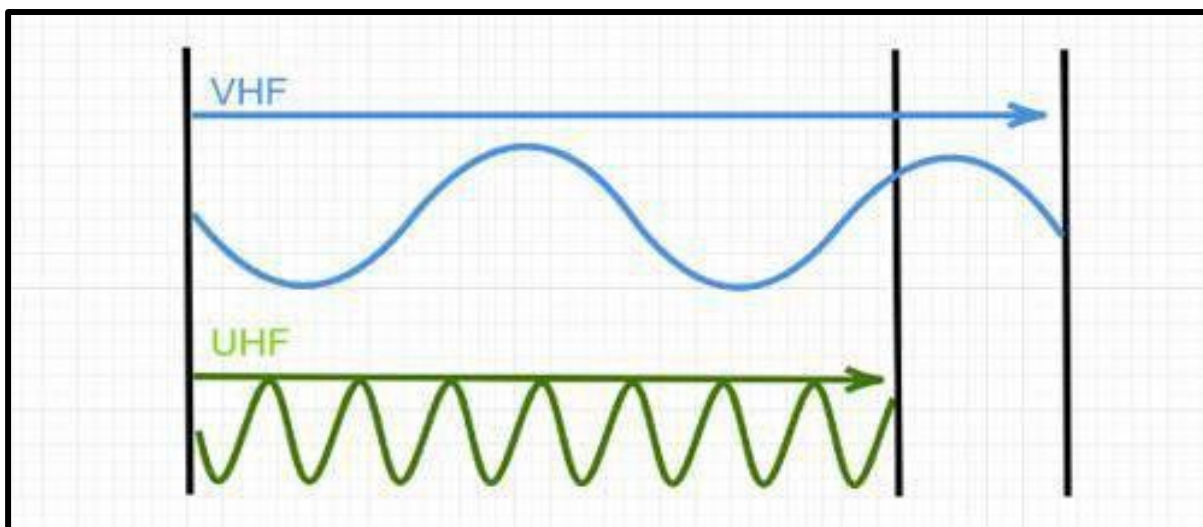


Fig 8-17 – Diferença entre o comprimento de ondas VHF e UHF

8.15 FAIXA DE SHF

8.15.1 A Faixa de Frequência Super Alta (SHF - *Super High Frequency*) é uma das faixas de frequência do espectro eletromagnético que se estende de 3 GHz a 30 GHz. Ela é utilizada para comunicações de alta frequência devido à sua elevada largura de banda.

8.15.2 Os sistemas de comunicações que utilizam a faixa de frequência SHF são baseados em tecnologia de micro-ondas. Esses sinais de micro-ondas são transmitidos por meio de uma antena em linha reta, em linha de visão direta, o que significa que a antena transmissora e a receptora devem estar em visão direta uma com a outra.

8.15.3 A transmissão de sinais de micro-ondas na faixa de frequência SHF é comumente usada em sistemas de comunicação por satélite, radar, de comunicação via fibra óptica, de comunicação ponto a ponto, dentre outras aplicações.

8.15.4 Os sinais de micro-ondas que são transmitidos na faixa de frequência SHF possuem características únicas que os tornam ideais para uso em sistemas de comunicação de alta frequência.

8.15.5 Eles são capazes de transmitir grandes quantidades de dados com alta velocidade, têm uma baixa taxa de erro de bit e são capazes de suportar transmissões de longa distância.

8.15.6 A faixa de frequência SHF é usada em uma variedade de aplicações devido às suas vantagens em relação a outras faixas de frequência.

8.15.7 Por exemplo, a faixa de frequência SHF é menos suscetível à interferência eletromagnética do que as faixas de frequência mais baixas.

8.15.8 Isso significa que os sinais de micro-ondas que são transmitidos na faixa de frequência SHF são menos propensos a sofrerem interferência de outros dispositivos eletrônicos.

8.15.9 No entanto, a faixa de frequência SHF também apresenta algumas desvantagens.

8.15.10 Por exemplo, devido ao fato de os sinais de micro-ondas serem transmitidos em linha de visão direta, eles podem ser interrompidos por obstáculos físicos, como prédios, montanhas e árvores. Isso pode limitar a capacidade de cobertura do sinal.

8.16 ZONA DE FRESNEL

8.16.1 A zona de Fresnel é uma região elipsoidal (região no espaço resultante da rotação de uma elipse em torno de um dos seus eixos), que se estende a partir da linha de visão direta entre dois pontos de transmissão e recepção de um sinal de rádio, e que afeta a qualidade da comunicação.

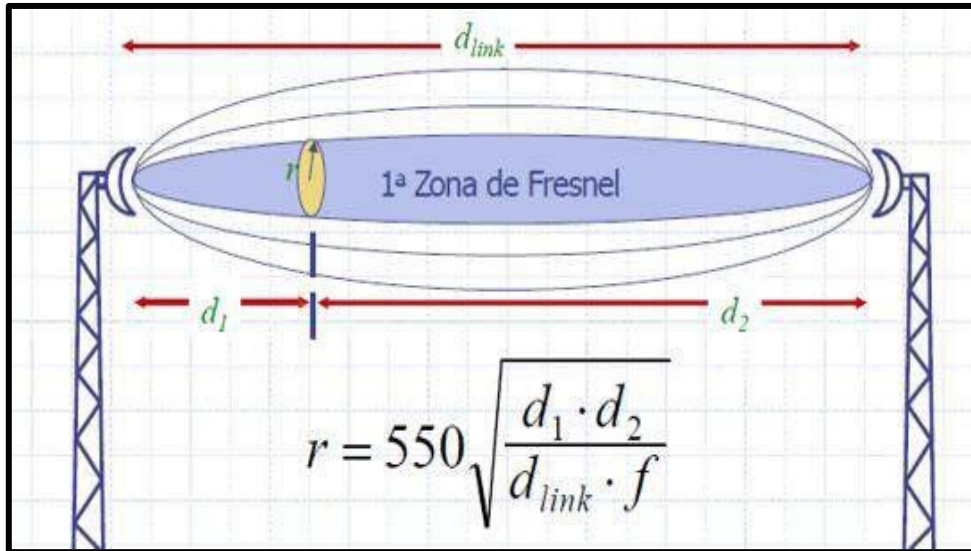


Fig 8-18 Cálculo da 1ª Zona de Fresnel

Referência: <https://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te271/4-Radiopropagacao.pdf>. Acesso em: 18 Jul 23

8.16.2 O cálculo da zona de Fresnel é feito a partir de uma fórmula que leva em consideração a frequência utilizada na comunicação, a distância entre os pontos de transmissão e recepção, e o raio da Terra. A fórmula é dada por:

$$r = 550 * \sqrt{\left(\frac{d1 * d2}{(d_{link} * f)}\right)}$$

Em que:

r = raio da 1ª zona de Fresnel a uma certa distância da antena em metros.

d1 = distância do ponto de transmissão até o ponto mais próximo da linha de visada direta em quilômetros.

d2 = distância do ponto de recepção até o ponto mais próximo da linha de visada direta em quilômetros.

d_{link} = distância total entre os pontos de transmissão e recepção em quilômetros.

f = frequência utilizada na comunicação em MHz.

8.16.3 A zona de Fresnel é importante em comunicações de rádio em VHF, UHF e micro-ondas, que geralmente operam na linha de visão direta entre os pontos de transmissão e recepção.

8.16.4 A zona de Fresnel deve ser mantida livre de obstáculos para evitar a atenuação do sinal e a interferência na comunicação. Em frequências mais altas, como micro-ondas, a zona de Fresnel é geralmente menor, o que significa que os obstáculos na trajetória do sinal têm um impacto maior na qualidade da comunicação.

8.16.5 Por essa razão, em comunicações de micro-ondas, é necessário torres de transmissão mais altas e sistemas de antenas mais direcionais para manter a linha de visada direta e minimizar o impacto da zona de Fresnel.

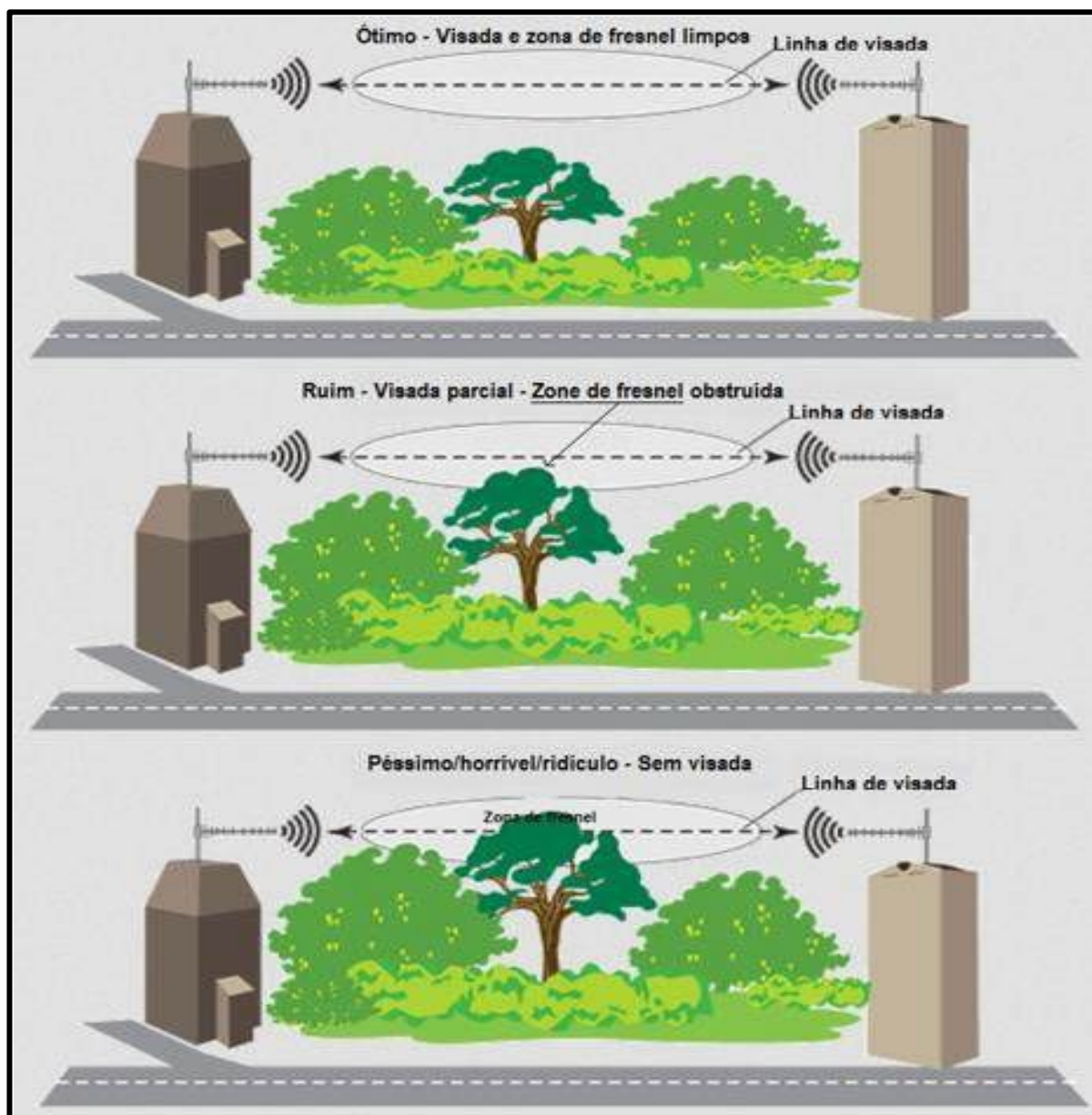


Fig 8-19 - Demonstração do impacto da Zona de Fresnel em Enlaces de Comunicações.

Referência: <https://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te271/4-Radiopropagacao.pdf>. Acesso em: 18 Jul 23.

8.17 RADIOTRANSMISSÃO ANALÓGICA

8.17.1 O radiotransmissor é o gerador da corrente de radiofrequência (RF) a ser convertida em energia irradiante pela antena transmissora. A corrente de RF considerada é alternada senoidal e chega à antena após percorrer a LT.

8.17.2 Um transmissor típico, sem modulador, é composto basicamente de quatro estágios, a saber: oscilador, separador, amplificador de potência e fonte de alimentação.

8.17.3 Esse transmissor com transistores bipolares, do tipo NPN, serve para operar em CW, em código Morse.

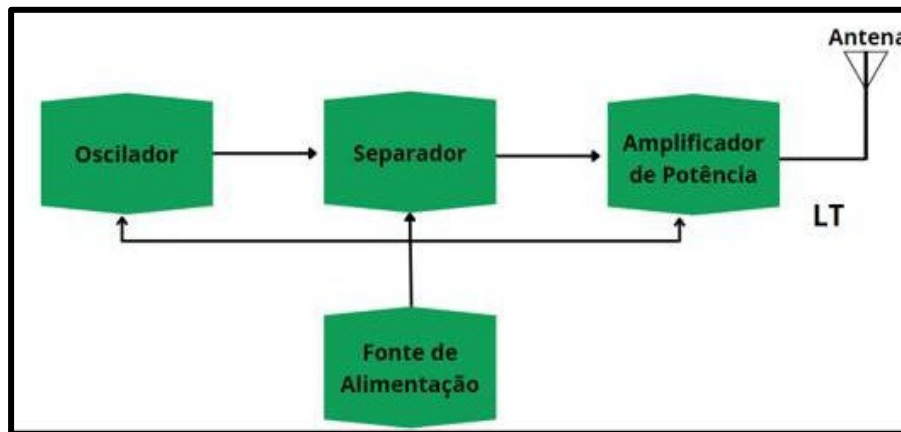


Fig 8-20 – Diagrama em blocos de um transmissor de rádio sem modulador Fonte: MEDEIROS, 2016.

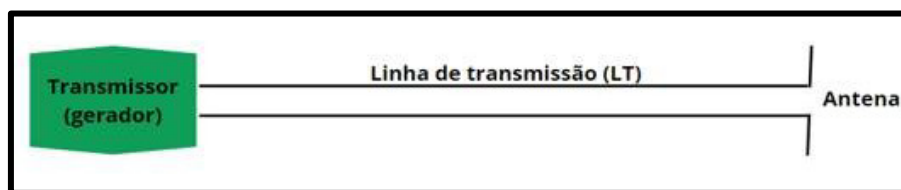


Fig 8-21 – Diagrama em blocos de um transmissor de rádio sem modulador Fonte: MEDEIROS, 2016.

8.17.4 Podem ser usados como linhas de transmissão: um par de fios condutores isolados, paralelos ou trançados, cabos coaxiais e linha *microstrip*. Guias de onda também podem ser utilizadas.

8.17.5 Os cabos coaxiais talvez sejam os mais usados como LT, por isso merecem atenção especial. Os guias de onda são usados em sistemas de micro-ondas (faixa de SHF).

8.17.6 A linha *microstrip* é feita com uma fita de material condutor elétrico fixada em um dielétrico, tendo na outra face uma placa metálica ligada à terra.

8.17.7 Cada tipo de linha tem destinação específica em função da faixa de frequência, da potência de trabalho, do custo e das características elétricas e mecânicas.

8.17.8 Mecanicamente, devem ser levados em conta o peso, as dimensões, a resistência à tração, a resistência à corrosão e outras características, conforme o caso. Em primeira mão, o fabricante deve fornecer todas as informações sobre o material.

8.17.9 A utilização do conector macho na ponta do cabo facilita ligar e desligar a antena do transmissor ou do receptor, para introdução de aparelhos de medição no circuito, para troca de antenas ou para serviços de manutenção. O conector fêmea é encontrado fixo nos painéis dos equipamentos de transmissão e de recepção, além dos instrumentos de medidas.

CAPÍTULO IX

ANTENAS

9.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

9.1.1 A antena é um dispositivo geralmente metálico (como disco ou fio) para radiação das ondas rádio ou um meio para irradiar ou receber ondas rádio. (*Webster's Dictionary; IEEE Standard Definitions*). A antena é utilizada na transmissão dos sistemas rádio para radiar ondas eletromagnéticas e na recepção para captá-las. Durante a transmissão, a antena converte a corrente de RF gerada pelo transmissor em ondas eletromagnéticas. Inversamente, na recepção, converte a onda eletromagnética em corrente elétrica de RF, a ser processada pelo receptor, visando à obtenção da informação na forma como foi transmitida. Portanto, a antena não deixa de ser um tipo de transdutor.

9.1.2 Em determinadas frequências e potências, as ondas rádio extrapolam o campo das comunicações. São úteis, por exemplo, na área médica, em diatermia, nos tratamentos terapêuticos com ondas curtas para calor profundo e na cozinha no forno de micro-ondas.

9.1.3 Além do material condutor usado como elemento irradiante, materiais isolantes também fazem parte da antena. A cerâmica da base da antena vertical instalada em veículos impede a fuga da RF para as partes aterradas; a borracha serve para isolar o elemento condutor de transceptores portáteis (HT) e para proteger o operador do contato direto com a RF da antena.

9.1.4 A instalação da antena deve ser feita em ambiente livre e, por segurança, distante de fios expostos da rede elétrica, em particular, da rede de alta tensão. Quando instalada em locais confinados, como túneis ou galerias subterrâneas, a preocupação é a mesma, considerando o espaço livre como interno do local do confinamento.

9.1.5 Sob a terra, as comunicações com o exterior só ocorrem se a RF da transmissão for conduzida para fora do local do confinamento e, no caso da recepção, se for trazida de fora, por algum meio. Observe que no interior do elevador de um edifício quase sempre cai a ligação feita pelo telefone celular. O elevador, confinado na coluna vertical da estrutura de concreto edificada, funciona como gaiola de Faraday.

9.1.6 Os locais de instalação das antenas devem estar protegidos por para-raios.

9.1.7 Pelo teorema da reciprocidade, as características de uma antena valem tanto para a transmissão quanto para a recepção. A aplicabilidade e o desempenho de uma antena dependem da definição de vários de seus parâmetros.

9.1.8 O dimensionamento de uma antena é feito em função do comprimento de onda λ , calculada da frequência de operação.

9.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE ANTENAS

9.2.1 A antena é um dispositivo que transforma corrente elétrica de radiofrequência oriunda do transmissor em energia eletromagnética irradiada. Na recepção, a antena realiza o inverso, ou seja, transforma a energia eletromagnética irradiada em corrente de RF para ser entregue ao receptor. Portanto, sua função é primordial em qualquer comunicação em que exista radiofrequência.⁹

9.2.2 Seu dimensionamento é feito em função do comprimento de onda λ , que é definido de acordo com a frequência ou faixa de frequências de operação do sistema rádio.⁹

9.2.3 Uma antena funciona da seguinte maneira: o transmissor produz o sinal da informação na forma de AC (corrente de radiofrequência). Ao circular na antena de transmissão, a corrente de RF produz uma onda eletromagnética a seu redor, que se irradia pelo ar.

9.2.4 Ao atingir uma antena receptora, a onda eletromagnética induz nela uma pequena corrente elétrica, cujas oscilações acompanham o movimento da onda. Essa corrente é muito mais fraca do que a presente na antena transmissora, sendo amplificada no receptor.⁹

9.2.5 A antena tem o comportamento de um circuito ressonante em série, conforme mostra a Fig 9-1.

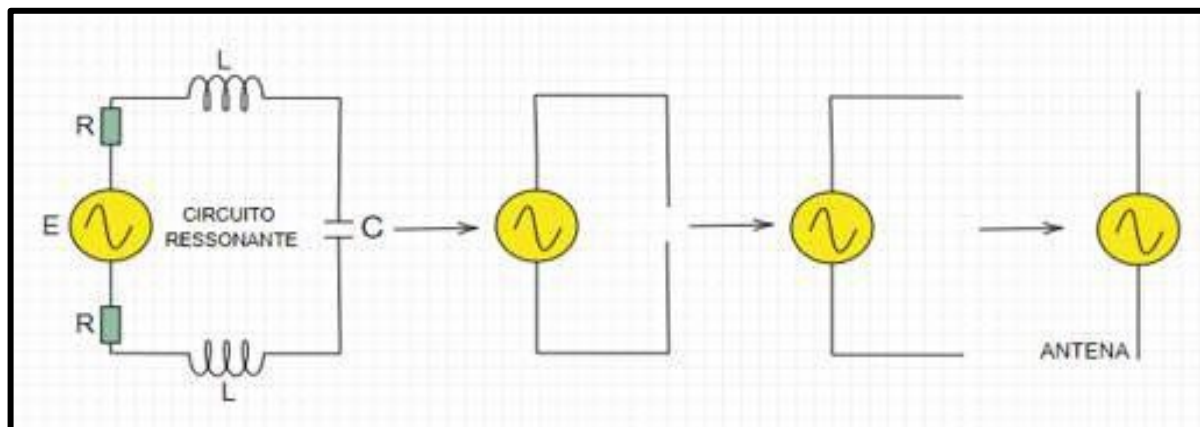


Fig 9-1 – Circuito ressonante de uma antena - Referência: <https://eletercidade.blogspot.com/2012/11/o-funcionamento-de-uma-antena.html>. Acesso em: 15 maio 22.

9.2.6 A faixa de operação da antena ou de largura de banda é definida quando ela opera próxima à frequência de ressonância, apresentando comportamento praticamente resistivo, com anulação das impedâncias capacitiva e indutiva do circuito equivalente ressonante.⁹

⁹ Disponível em: <https://eletercidade.blogspot.com/2012/11/o-funcionamento-de-uma-antena.html> Acesso em: 15 maio 22.

9.2.7 Do ponto de vista elétrico, a antena pode ser vista como impedância, com componentes resistivos, capacitivos e indutivos. A impedância da antena na faixa de operação deve ter o mesmo valor apresentado pela LT à qual a antena está ligada. Caso contrário, ocorrerá descasamento de impedâncias entre a LT e a antena, provocando perdas de energia, devido a reflexões.⁹

9.2.8 Essa energia refletida, somada com a energia incidente, gera, na LT, uma onda estacionária, prejudicando a comunicação.⁹

9.3 CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS

9.3.1 Uma antena pode ser classificada como uma estrutura metálica associada a uma região de transição entre uma onda guiada e uma onda no espaço livre, e/ou vice-versa. Ou seja, uma antena é um transdutor de ondas que se propagam em meios confinados, tais como cabo coaxiais, guias de onda, linhas bifilares, enfim, linhas de transmissão; e no espaço livre, que possui como meio de propagação o ar ou o vácuo.⁹

9.3.2 Uma maneira simples de representar uma antena é uma LT com sua extremidade em aberto. A Fig 9-2, a seguir, ilustra um gerador conectado a dois fios, e, assim, formando uma LT. Supondo que exista um casamento entre o transmissor e a linha, a onda é guiada em um meio confinado até onde os fios se separam gradualmente e, com isso, espalham a energia até então guiada. Quando os fios já estiverem separados de muitos comprimentos de onda, a onda guiada transforma-se em onda irradiada no espaço livre. Esta região de transição pode ser considerada uma antena.⁹



Fig 9-2 – Representação de uma antena de transmissão simples⁹ - Referência: <https://eletercidade.blogspot.com/2012/11/o-funcionamento-de-uma-antena.html>. Acesso em: 15 maio 22.

9.3.3 De uma forma geral existe uma razão de proporção entre o comprimento da onda eletromagnética e o tamanho da antena, porém, para alguns casos, não vale esta proporcionalidade. As dimensões das antenas podem variar desde as chamadas microminiatura até as gigantes.⁹

9.3.4 Entretanto, isso deve ser visto com cautela porque muitas antenas utilizam artifícios para melhorar a eficiência ou para concentrar energia em uma dada direção, o que literalmente invalida essa proporcionalidade.⁹

9.3.5 É o caso da antena parabólica que possui certa proporcionalidade com o comprimento de onda apenas em seu alimentador, sendo o refletor função da capacidade de concentrar a energia em uma determinada direção. Note que neste caso estamos falando de pequenos comprimentos de onda e de grandes antenas.⁹

9.3.6 Outro exemplo de que a regra básica não é seguida são as antenas de baixa frequência. Nesse caso, deveriam ser utilizadas antenas de grandes dimensões, mas, como a eficiência não é importante, pequenas antenas podem ser utilizadas.⁹

9.3.7 A ideia de que frequências altas implicam antenas pequenas e que frequências baixas implicam antenas grandes deve ser mantida e, sempre que a regra não for válida, existirão razões ligadas aos parâmetros das antenas.⁹

9.3.8 Uma antena de VLF (*Very Low Frequency*) pode medir aproximadamente 300 metros, enquanto um dipolo de micro-ondas mede na ordem de um centímetro.⁹

9.3.9 Uma antena isotrópica, como mostra a Fig 9-3, a seguir, irradia energia em todas as direções com a mesma intensidade (mesma potência), de tal forma que existirão esferas concêntricas constituídas de pontos com a incidência de uma mesma densidade de potência, que será inversamente proporcional ao quadrado da distância desse ponto à antena isotrópica (ponto irradiador).

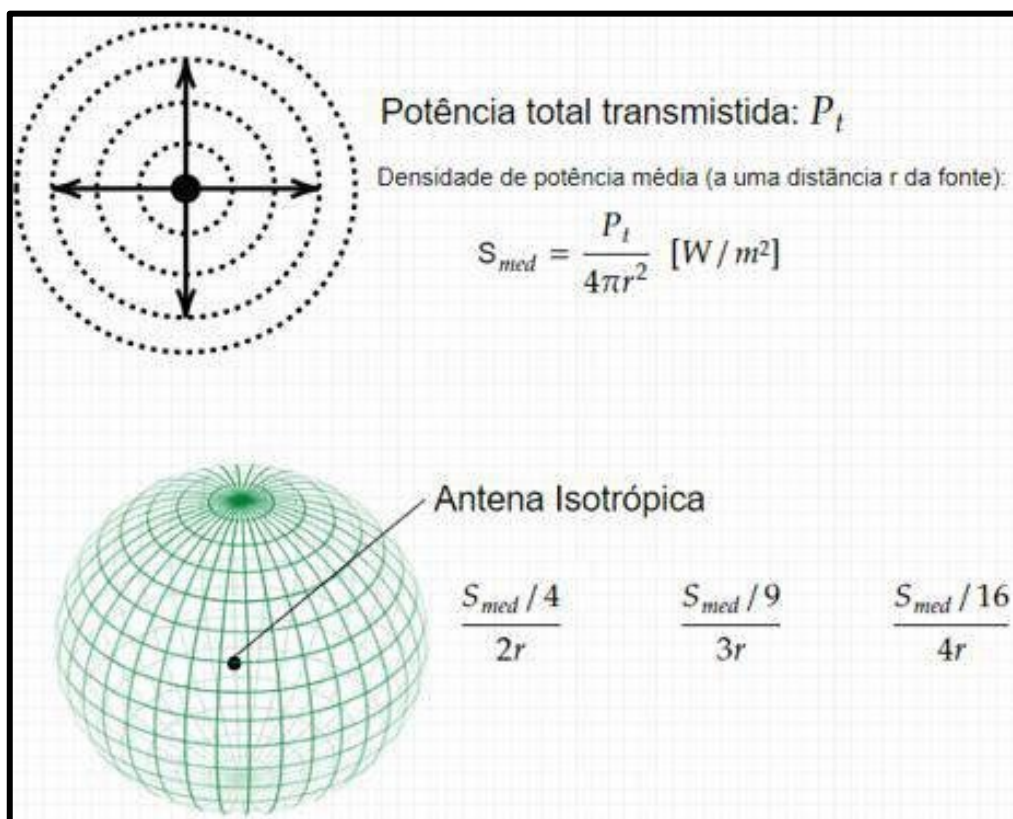


Fig 9-3 – Antena Isotrópica - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.3.10 As projeções do volume de energia radiante em planos horizontal e vertical em ângulo diedro, com o observador situado no infinito, dão origem aos diagramas de radiação padrão da antenna, conforme visto na Fig 9-4, a seguir. Uma antenna vertical foi escolhida para estudo dos diagramas de radiação. Nas projeções, as áreas com concentração de energia são denominadas lóbulos.

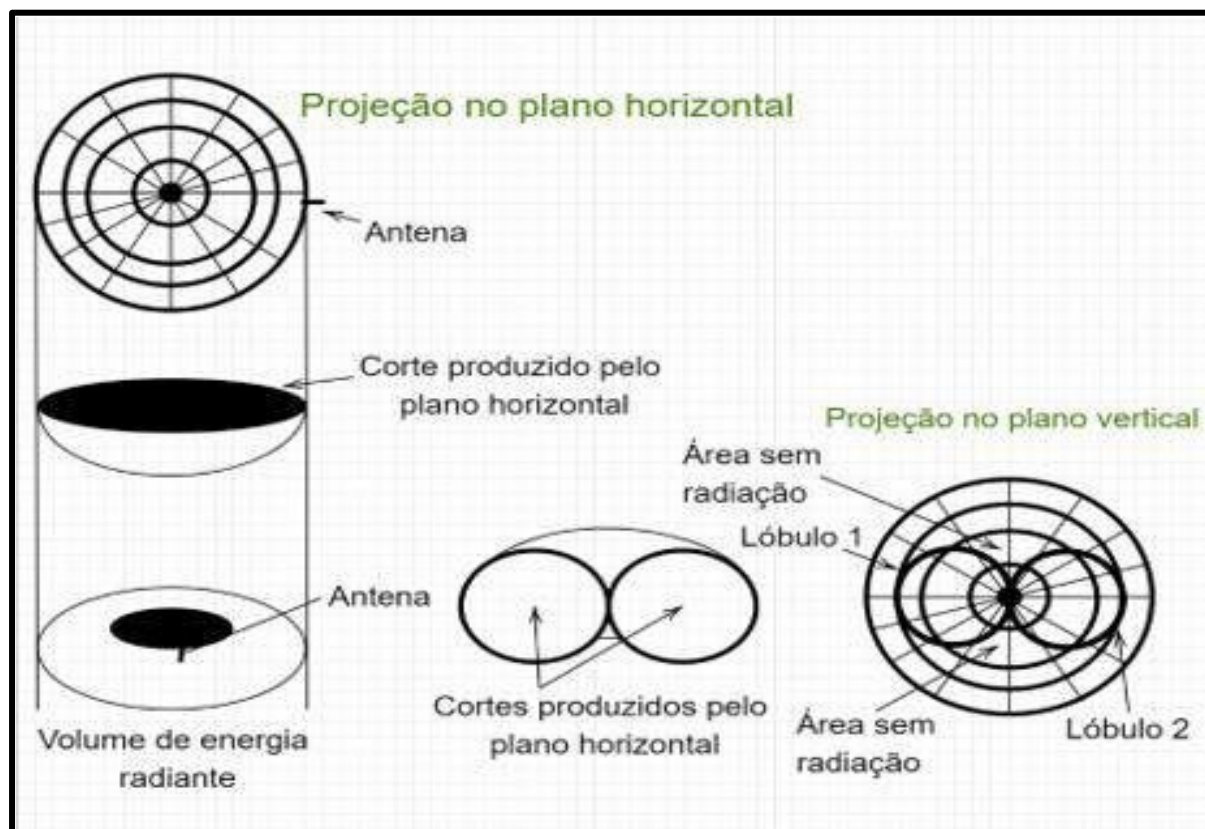


Fig 9-4 – Visualização do diagrama de radiação de uma antena - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.3.11 Na prática, uma antena dipolo é observada na Fig 9-5 a seguir. Um conjunto de transmissão é apresentado na figura. Ele é formado pelo transmissor ou gerador G da RF, pela LT e pela antena composta de dois elementos metálicos que formam um dipolo.

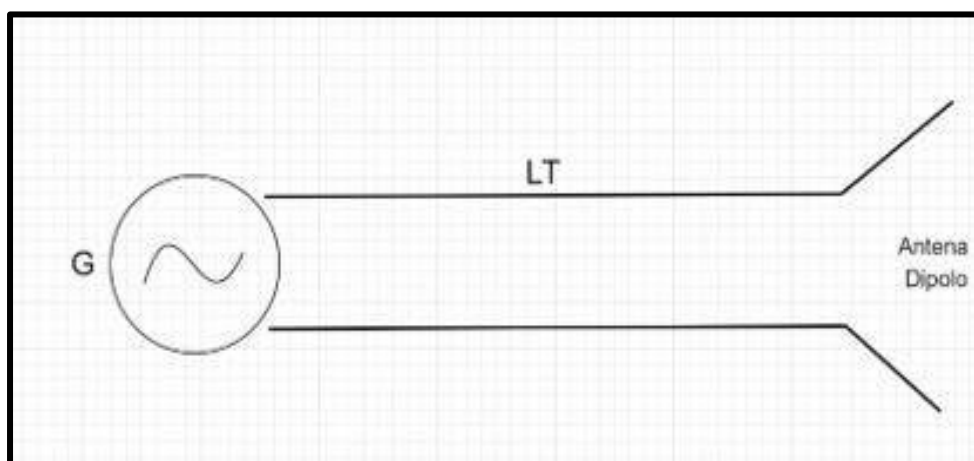


Fig 9-5 – Antena Dipolo Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.3.12 Na transmissão padrão, considera-se que a corrente de RF de alimentação da antena é alternada senoidal.

9.3.13 A título de ilustração, a Fig 9-6, a seguir, mostra o campo elétrico formado pelo dipolo meia onda.

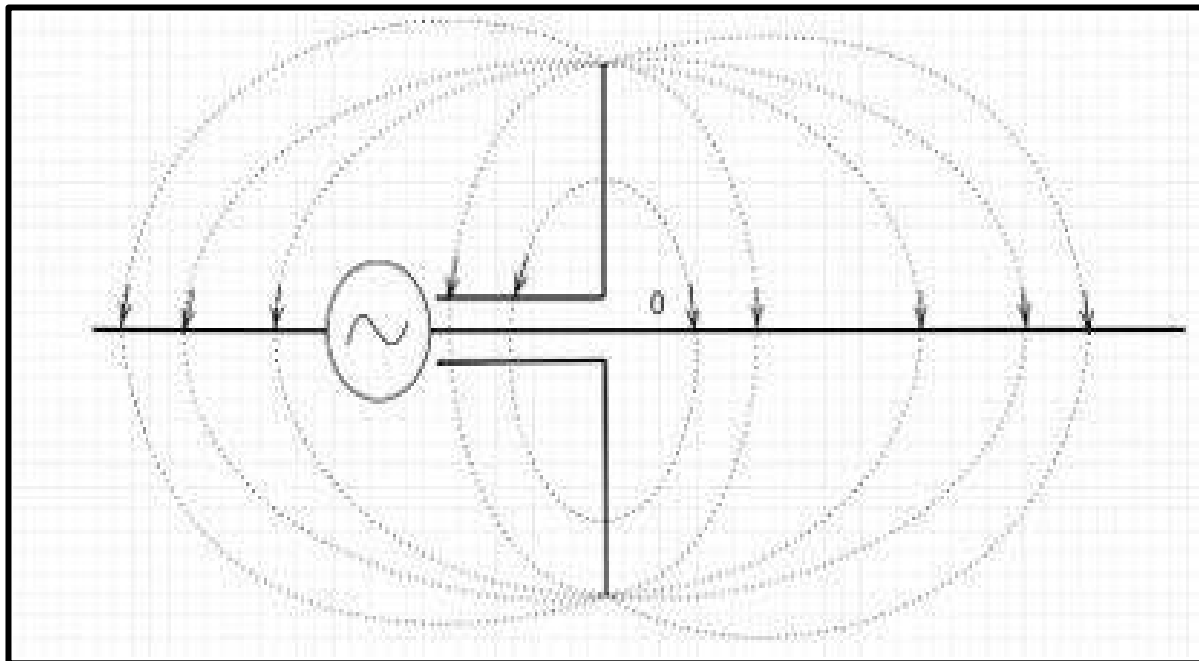


Fig 9-6 – Campo elétrico formado pela antena dipolo de meia onda Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.3.14 VALORES DE COMPRIMENTO

9.3.14.1 A antena vertical pode assumir diferentes valores de comprimento. O de um quarto de onda ($l = \lambda/4$) é o mais empregado, e, quando corretamente dimensionada e instalada, a antena tem os diagramas de radiação semelhantes aos mostrados na Fig 9-7.

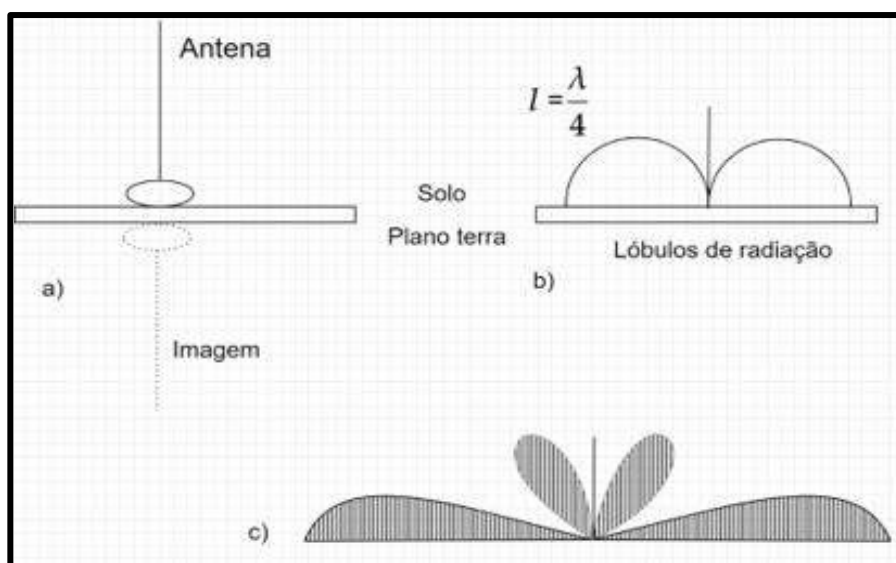


Fig 9-7 – Lóbulos de radiação de uma antena Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.3.14.2 Ao se observar os diagramas de radiação na antena, nota-se que:

9.3.14.2.1 Na projeção horizontal, a irradiação ocorre igualmente em 360°, o que leva a antena vertical a ser mencionada, costumeiramente, como antena omnidirecional.

9.3.14.2.2 Na projeção vertical, existem dois lóbulos de irradiação e duas áreas vazias, sem irradiação (entre a antena e a linha dos lóbulos), caracterizando, portanto, a ausência de irradiação para o alto no prolongamento do eixo da antena vertical.

9.3.14.2.3 Aparentando ser um monopolo vertical, é, na realidade, um dipolo, pois o outro elemento é virtual, imagem do monopolo em relação à superfície do solo.

9.3.14.2.4 A superfície do solo funciona como um espelho para a antena.

9.3.14.2.5 A impedância do dipolo, 73 Ω , também fica dividida em duas, 36,5 Ω para cada uma das partes.

9.3.14.2.6 Se o monopolo ficar inclinado, o diagrama de radiação será modificado consideravelmente. Quando se utiliza um equipamento portátil ou veicular, em HF, SSB, a inclinação do elemento da antena facilita os enlaces via ionosfera.

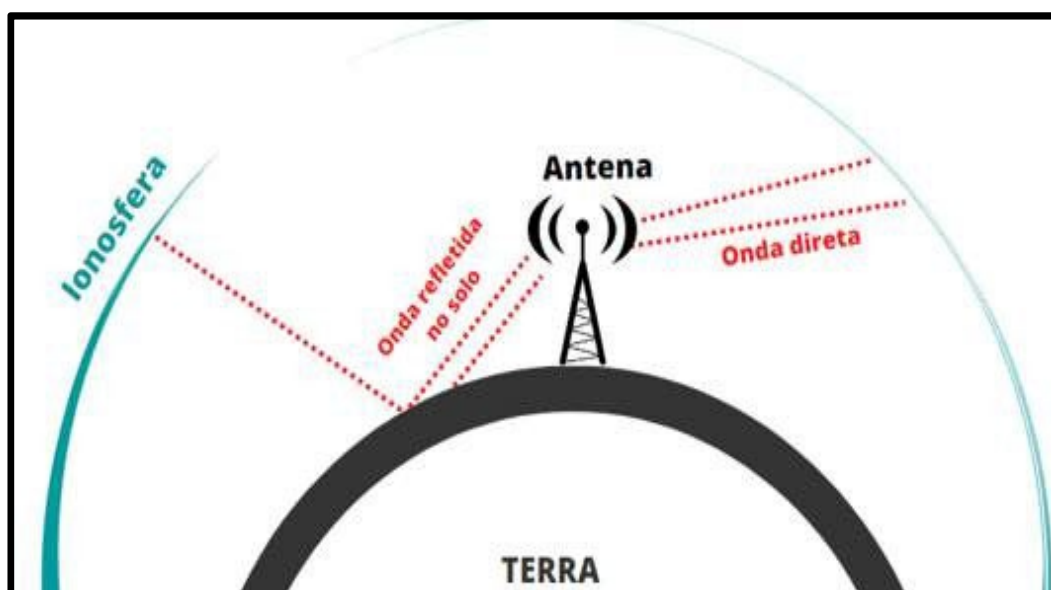


Fig 9-8 – Radiação dos enlaces HF via Ionosfera

9.3.14.2.7 A antena na posição vertical é indicada em enlaces na faixa de 2 a 3 MHz por ondas terrestres (com o emprego de radiais); e em VHF e UHF nos enlaces em visibilidade.

9.4 PARÂMETROS DAS ANTENAS

- Antes da escolha e da aplicação da antena no sistema de transmissão ou de recepção, é preciso conhecer as principais características e os parâmetros mais importantes que definem a antena.

9.4.1 BANDA PASSANTE

9.4.1.1 Pode ser explicada como a faixa de frequências aceita pela antena sem causar prejuízos ao desempenho da transmissão ou da recepção.

9.4.1.2 A banda passante de uma antena é medida nos terminais da antena sem a presença do acoplador. Pode ser de banda larga ou de banda estreita, em função das frequências nos pontos de meia potência, e a referência é feita à frequência central, de ressonância da antena, em valor percentual.

9.4.2 POLARIZAÇÃO

- É a forma de radiar da antena que determina a polarização da onda eletromagnética (vertical ou horizontal, circular ou elíptica), a maior transferência de energia entre as antenas transmissora e receptora ocorre na situação de igual polarização.

9.4.3 RADIAÇÃO

9.4.3.1 É um padrão que pode ser representado por uma função matemática ou um gráfico que expressa as propriedades de radiação da antena em função de um sistema de coordenadas. Cada antena tem o seu próprio modo de radiar, e o volume de energia produzido pode assumir diferentes formas.

9.4.3.2 A Fig 9-9 mostra um diagrama de radiação em coordenadas polares de uma antena dipolo de meia onda. Ao se aumentar a separação entre a antena e o solo, em comprimento de onda, a forma do volume de energia se modifica, com o estreitamento do lóbulo principal e o surgimento de lóbulos secundários.

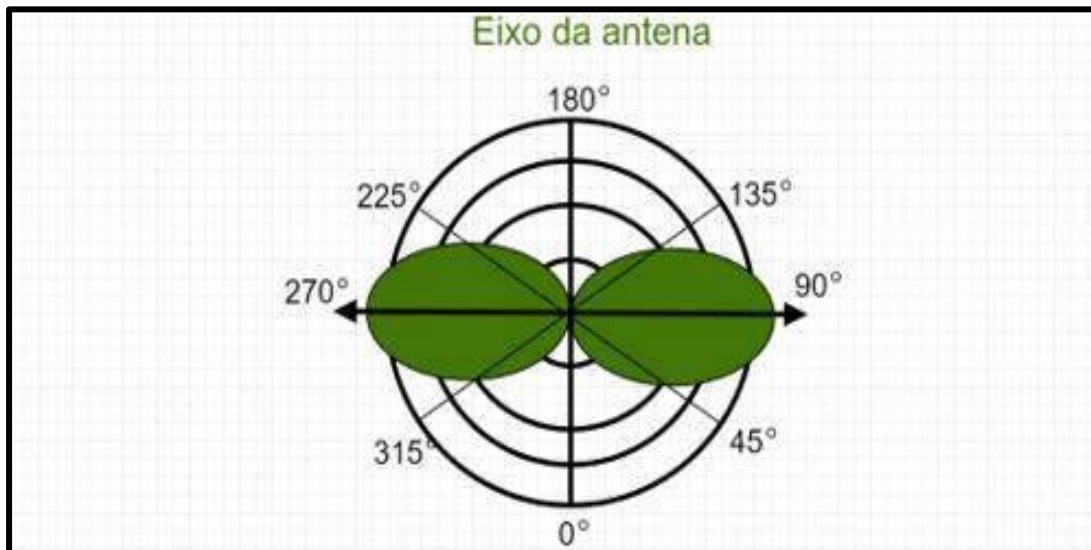


Fig 9-9 – Padrão de radiação de uma antena dipolo de meia onda - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.4.3.3 Pelos diagramas de radiação são identificados os lóbulos principais e os secundários. Conforme mostra a Fig 9-10, o lóbulo principal concentra o maior volume de energia, por isso deve ser direcionado ao local de recepção. Os lóbulos secundários ficam voltados para outras direções e, na maioria das vezes, esse fato pode ser considerado desperdício de energia.

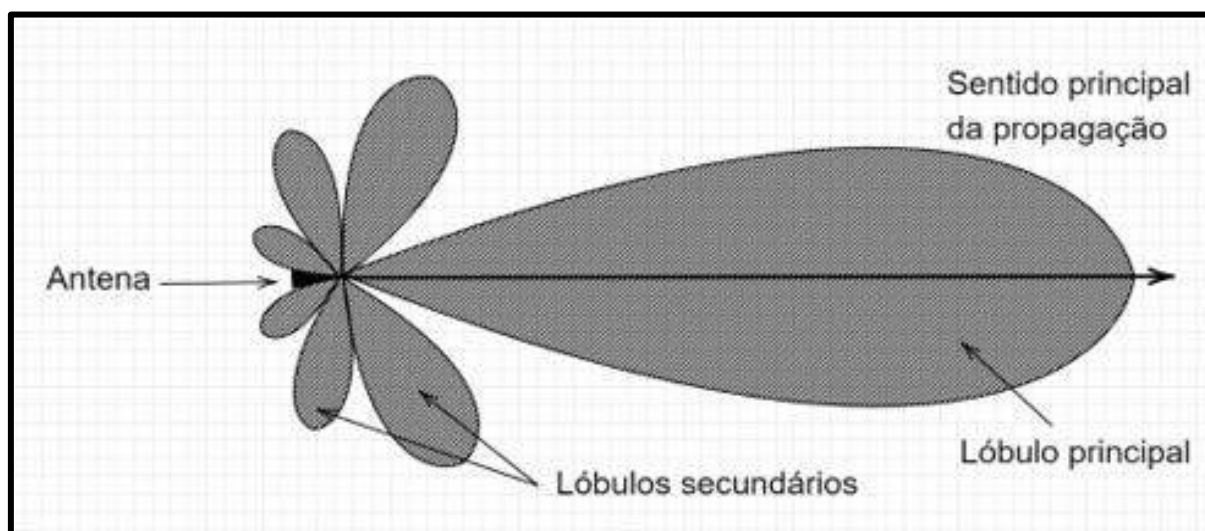


Fig 9-10 – Lóbulos de irradiação de uma antena Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.4.3.4 Em geral, a radiação padrão é modificada quando há presença de elemento condutor passivo (não alimentado) inserido no contexto como diretor ou refletor da onda e quando se altera a fase de alimentação das antenas de um arranjo (*array*).

9.4.4 IMPEDÂNCIA

9.4.4.1 A impedância da antena (Z_{ant} , em ohm - Ω) deve ter o mesmo valor da LT ou de recepção para o perfeito funcionamento do sistema.

9.4.4.2 Na prática, as antenas estão disponíveis no mercado com valores típicos de impedâncias das linhas, sendo os mais comuns 50, 75 e 300 Ω , mas, em função das circunstâncias de instalação da antena, a impedância pode apresentar-se com o valor alterado.

9.4.4.3 Por exemplo, o valor da impedância é modificado quando se eleva o monopolo acima da superfície do solo, plano de terra natural e de referência da antena. Com o objetivo de vencer a curvatura da Terra para aumentar o alcance da transmissão, é comum instalar a antena no alto de uma torre.

9.4.4.4 Esse procedimento faz com que a imagem virtual se distancie da antena, provocando a mudança considerável da impedância.

9.4.4.5 Em consequência, a radiação fica comprometida pela perda de potência com o surgimento das "famosas" ondas estacionárias. A solução encontrada para o problema é construir um plano de terra artificial com varetas metálicas ligadas à terra sob o monopolo da antena.

9.4.4.6 A antena mostrada na Fig 9-11 é, por isso, denominada antena vertical com plano de terra elevado.

9.4.4.7 A impedância característica da antena dipolo de meia onda varia com o ponto de entrada da alimentação de RF, conforme a Fig 9-12. Observa-se que, no centro, a impedância é 73 Ω e, nas extremidades, chega a 2500 Ω .

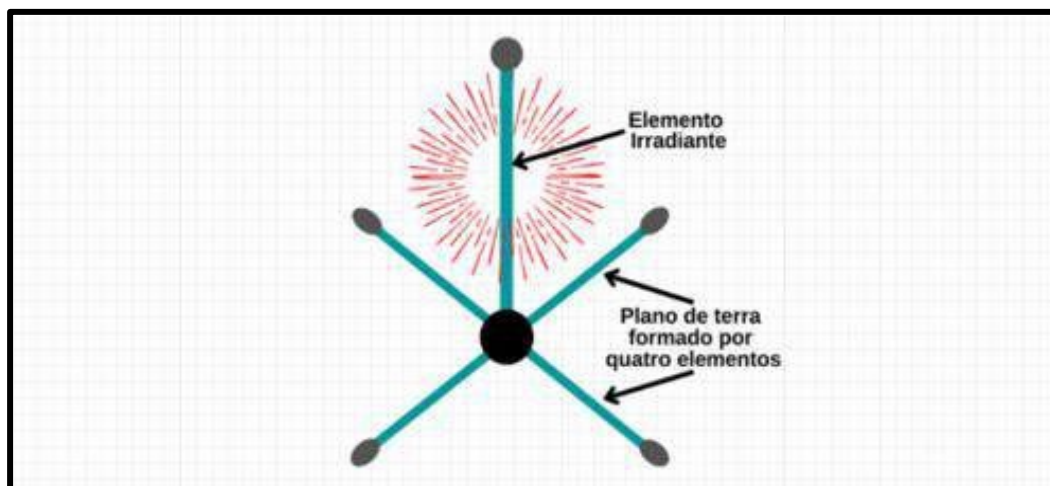


Fig 9-11 – Exemplo de antena plano de terra elevado Fonte: MEDEIROS, 2016.

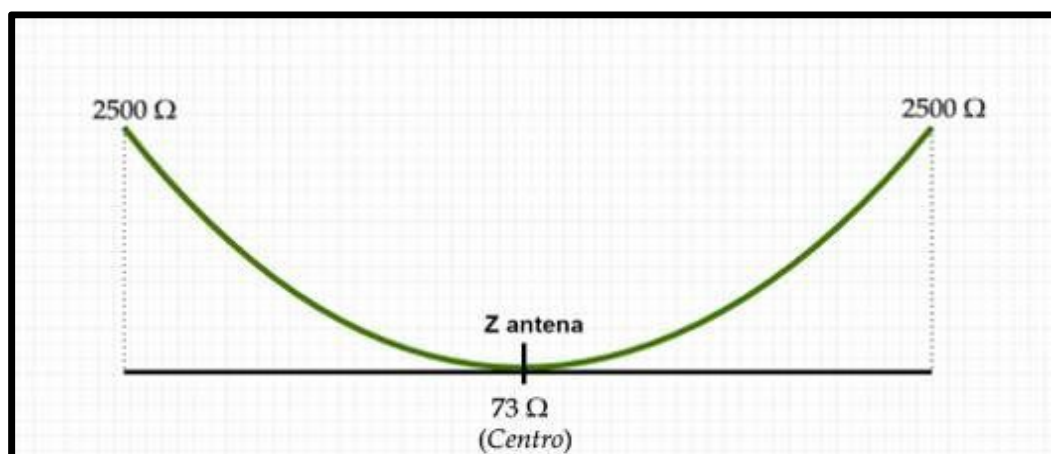


Fig 9-12 – Impedância de uma antena - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.4.5 RESISTÊNCIA DA ANTENA E POTÊNCIA IRRADIADA

9.4.5.1 A potência entregue à antena é transformada em duas outras formas: energia irradiada (ondas rádio) e dissipação térmica (calor). A expressão matemática da potência é:

$$P = R \times I^2$$

Em que:

P = a potência de saída, em watt [W]

R = a resistência, em ohm [Ω]

I = corrente, em Ampère [A].

$$P_0 = (R_a + R_r) \times (I_{RF})^2$$

Em que:

P₀ = potência dissipada pela antena, em watt

R_a = real resistência da antena, em ohm

R_r = resistência de radiação da antena, em ohm

I_{RF} = corrente de RF, em ampère, de alimentação da antena

9.4.5.2 Assim, $R_a \cdot (IRF)^2$ é a parte dissipada na forma de calor e $R_r \cdot (IRF)^2$ é a parte convertida em radiação (ondas rádio).

9.4.6 DIRETIVIDADE

9.4.6.1 A diretividade D é a propriedade de cada tipo de antena de radiar mais fortemente em algumas direções do que em outras. Isso pode ser expresso quantitativamente, em comparação ao radiador isotrópico, em que $D = 1$. Quanto maior for o valor de D , mais diretiva será a antena.

9.4.6.2 Agora, seja novamente aplicado o mesmo raciocínio. Imagine uma esfera de raio r envolvendo uma antena isotrópica localizada no centro da esfera. O volume de energia terá a forma da esfera, e, se a potência irradiada for W , em watt, sendo $4\pi r^2$ a superfície da esfera, a componente radial P_r , em watt por metro quadrado, será:

$$P_r = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Em que:

P_r = componente radial (potência por unidade de área)

W = potência irradiada

4π = quatro vezes o valor de π [$\approx 3,14$]

r^2 = raio ao quadrado da esfera de irradiação

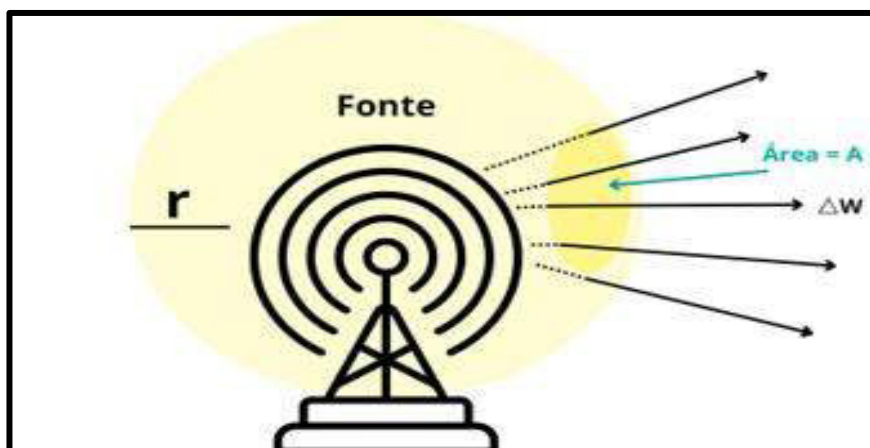


Fig 9-13 – Radiação da antena Isotrópica - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.4.6.3 O valor de P_r retrata a potência por unidade de área ou a densidade de potência tomada sobre a superfície da esfera, que, sabidamente, será a mesma em todos os lugares da superfície, por isso assume o valor de diretividade 1. Também P_r é tomado por componente radial do vetor de *Poynting* médio, aquele que aponta no sentido da direção de propagação da onda.

9.4.6.4 Nas mesmas condições de envolvimento pela esfera, uma outra antena qualquer não apresenta o mesmo resultado. O volume de energia irradiado vai ter outra forma, e determinadas regiões da superfície da esfera vão apresentar maior densidade de potência que outras. Dessa forma, a diretividade da antena será diferente.

9.4.6.5 A densidade de potência P_r pelo quadrado do raio r , unitário, resulta U , intensidade de radiação, em potência por ângulo sólido unitário (watt por radiano quadrado ou esterradiano).

9.4.6.6 Observação: ângulo sólido que, tendo vértice no centro de uma esfera, subentende-se na sua superfície uma área igual ao quadrado do raio da esfera, tem por unidade de medida o esterradiano.

9.4.6.7 Ao se considerar que a intensidade de radiação máxima $U_{\max}$ estará sempre na direção $\Theta = 0^\circ$, direção principal do rádio enlace, e, sendo U_0 a intensidade de radiação da antena isotrópica, a diretividade D de uma antena pode ser expressa pela relação entre a intensidade de radiação máxima e a intensidade de radiação média da fonte.

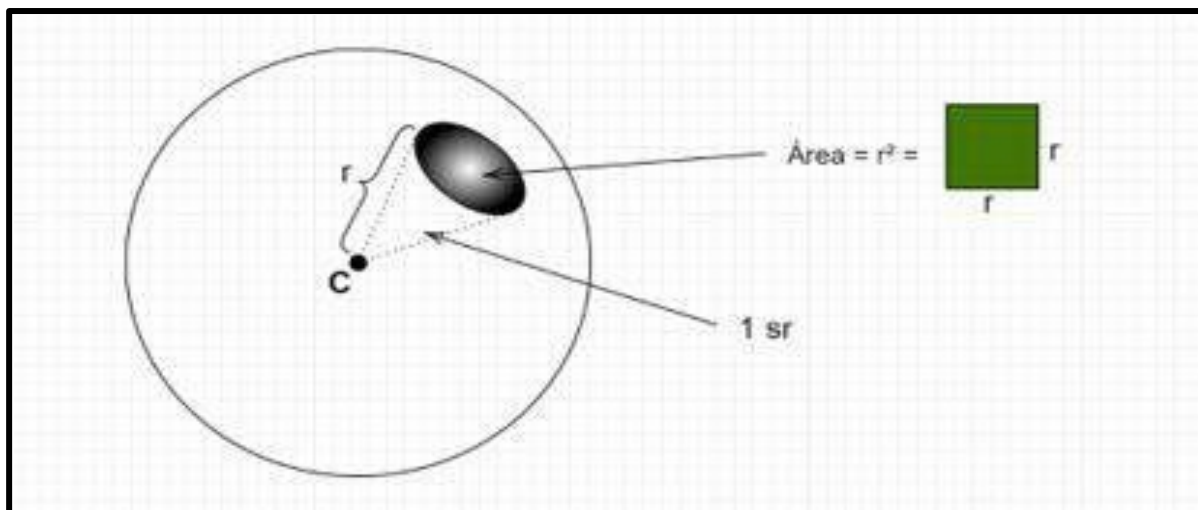


Fig 9-14 – Radiação da antena Isotrópica Fonte: MEDEIROS, 2016.

$$D = \frac{U_{\max}}{U_{\text{méd}}}$$

Em que:

D = diretividade de uma antena
 $U_{\max}$ = intensidade de radiação máxima
 $U_{\text{méd}}$ = intensidade de radiação média

9.4.6.8 Na prática, quanto ao modo de radiar, observados os lóbulos principais, as antenas são classificadas em bidirecionais e unidirecionais.

9.4.6.9 Comparativamente ao radiador isotrópico, as figuras a seguir, com os diagramas horizontais de radiação de algumas antenas, dão uma noção prática de valores numéricos da diretividade D . Assim, na Fig 9-15, 1,5 corresponderia a um dipolo curto e 1,64, a um dipolo meia onda, distanciados do solo na medida do comprimento da onda (λ).

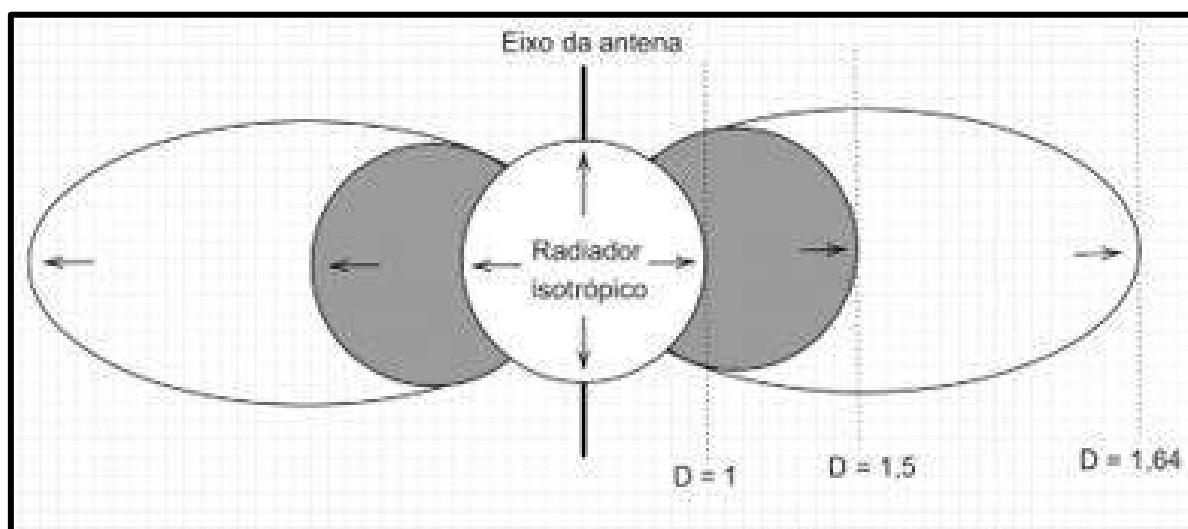


Fig 9-15 – Valores de diretividade de antenas bidirecionais - Fonte: MEDEIROS, 2016.

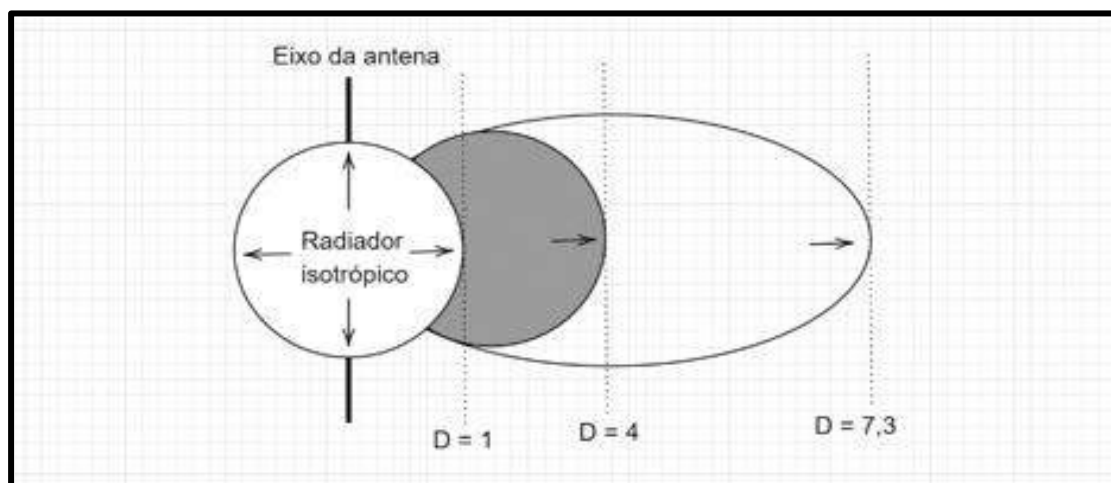


Fig 9-16 – Valores de diretividade de antenas unidirecionais - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.4.6.10 Os valores de D apresentados em função dos lóbulos são comparativos. Na realidade, são obtidos por cálculos de integração de funções matemáticas representativas das antenas, em coordenadas esféricas, não abordadas na apresentação da matéria. Esse estudo pode ser feito, a fundo, em livros específicos sobre engenharia de antenas.

9.5 RENDIMENTO OU EFICIÊNCIA DE RADIAÇÃO

9.5.1 O rendimento ou a eficiência de radiação de uma antena é uma medida da quantidade de energia que é irradiada pela antena em relação à quantidade de energia que é fornecida a ela pelo transmissor.

9.5.2 O rendimento de uma antena é uma medida da sua capacidade de converter a energia elétrica em energia eletromagnética propagável no espaço.

9.5.3 Uma antena ideal teria um rendimento de 100%, o que significaria que toda a energia elétrica fornecida à antena seria convertida em energia eletromagnética propagável no espaço. No entanto, na prática, a eficiência de radiação de uma antena é sempre menor que 100% devido a perdas de energia que ocorrem durante a transmissão.

9.5.4 As perdas de energia podem ocorrer de várias maneiras, incluindo perdas por condução, perdas por radiação, perdas de reflexão e perdas devido à impedância desequilibrada.

9.5.4.1 Perdas por condução – quando a corrente flui através dos elementos da antena, uma parte da energia é perdida na forma de calor devido à resistência elétrica dos materiais da antena.

9.5.4.2 Perdas por radiação – a radiação eletromagnética nem sempre é emitida na direção desejada pela antena, resultando em perdas de energia.

9.5.4.3 Perdas de reflexão – quando uma onda eletromagnética é refletida de uma superfície, uma parte da energia é perdida.

9.5.4.4 Perdas devido à impedância desequilibrada – quando a impedância da antena não está perfeitamente combinada com a impedância do transmissor, ocorrem perdas de energia.

9.5.5 A eficiência de radiação de uma antena pode ser calculada dividindo a potência irradiada por uma antena pela potência total fornecida à antena pelo transmissor. Em geral, as antenas mais eficientes têm um *design* que minimiza as perdas de energia e maximiza a radiação de energia eletromagnética no espaço.

9.6 RENDIMENTO OU EFICIÊNCIA DO FEIXE DE UMA ANTENA

9.6.1 O rendimento ou a eficiência do feixe de uma antena é uma medida da capacidade da antena em radiar energia eletromagnética em uma direção específica. Em outras palavras, é a relação entre a energia irradiada na direção desejada e a energia total irradiada pela antena.

9.6.2 O rendimento do feixe de uma antena é influenciado por vários fatores, incluindo o *design* da antena, a frequência de operação, a natureza da superfície em torno da antena e o tamanho e a forma do elemento irradiante. Uma antena com alto rendimento de feixe é capaz de radiar energia de forma eficiente em uma direção específica,

reduzindo a perda de energia em outras direções e aumentando a qualidade da comunicação.

9.6.3 O rendimento do feixe pode ser calculado dividindo a potência irradiada na direção desejada pela potência total irradiada através da antena. Por exemplo, se uma antena irradia 50 W de energia em uma direção específica e 100 W de energia em todas as outras direções, o rendimento do feixe seria de 50%.

9.6.4 O rendimento do feixe de uma antena é um parâmetro importante para avaliar a qualidade da antena em uma determinada aplicação. Antenas com alto rendimento do feixe são amplamente utilizadas em sistemas de comunicação em que é necessário direcionar a energia de transmissão em uma direção específica para maximizar a eficiência da comunicação e minimizar a interferência em outras direções.

9.7 GANHO

9.7.1 O ganho da antena isotrópica, sem perdas, é igual ao produto da diretividade pela eficiência do feixe da antena, numericamente igual a 1. Buscando a realidade de uma antena qualquer, com perda, o valor do ganho é expresso pelo produto da eficiência pela diretividade.

9.7.2 Tendo como referência a antena isotrópica, o valor do ganho de uma antena é expresso em dBi, “i” de isotrópica, em acréscimo ao dB, mas com a mesma equivalência.

9.8 ABERTURA EFETIVA DA ANTENA (AE) DE UMA ANTENA

- Está relacionada com o ganho e as dimensões da antena. Quando o ganho é máximo, a abertura corresponde à área efetiva da antena.

9.9 RELAÇÃO FRENTE-COSTAS

- É calculada da relação entre a potência irradiada na direção principal (para a frente) e a potência irradiada na direção oposta (para trás), com valores obtidos do eixo principal de irradiação.

9.10 EIRP DA TRANSMISSÃO

9.10.1 É a referência normalmente usada para expressar a potência direcionada de radiação de um sistema na faixa de micro-ondas, por exemplo, nas comunicações por satélite.

9.10.2 EIRP – *Effective Isotropic Radiation Power* – é a potência da transmissão aplicada à antena isotrópica que proporciona o mesmo resultado da antena direcional em uso.

9.11 TIPOS DE ANTENAS

9.11.1 As antenas são construídas em vários tipos e modelos para diferentes aplicações e resultados, em função da frequência de trabalho, da potência de transmissão e do ganho. Alguns modelos destinados à instalação fixa podem girar no alto da torre, comandados por motor elétrico.

9.11.2 Esse recurso proporciona maior diretividade no enlace, pela facilidade do apontamento da antena. A antena log-periódica pode ser instalada dessa forma.

9.11.3 Os diferentes tipos de antena de maior uso podem ser agrupados conforme apresentado em seguida.

9.11.4 ANTENA DE FIO

9.11.4.1 É feita de fio condutor elétrico, geralmente cobre nu, e pode ter alma de aço (*copperweld*) para resistir à tração. De instalação fixa, é usada para comunicações de longas distâncias, superiores a 100 km, em frequências da faixa de HF, de 3 a 30 MHz.

9.11.4.2 A antena dipolo horizontal mostrada na Fig 9-17 é um exemplo de antena de fio.

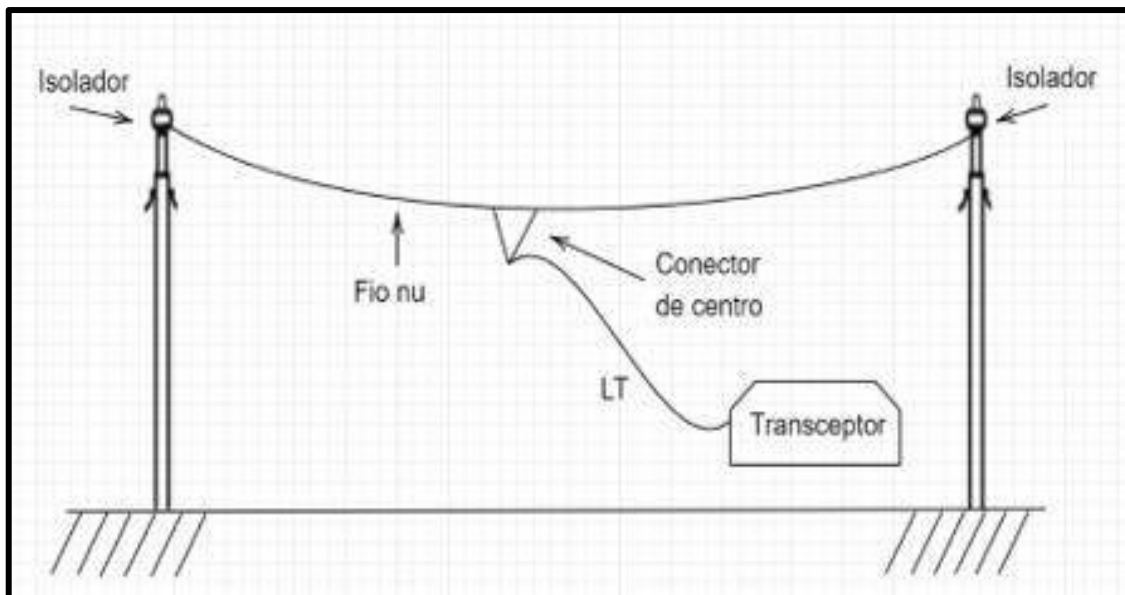


Fig 9-17 – Esquema de montagem fixa da antena dipolo horizontal Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.11.4.3 O conector de centro de antena e o isolador são elementos importantes na montagem da antena dipolo horizontal de fio.

9.11.5 ANTENA DE TUBOS METÁLICOS

9.11.5.1 A antena é feita de tubos de cobre ou de alumínio. Os tubos utilizados são encontrados em pelo menos cinco diferentes tipos.

9.11.5.2 Tubos de cobre ou de alumínio, geralmente ocos, mais leves, aplicados em antenas externas de recepção de TV, como a Yagi e a log-periódica, bem diretivas; na

forma espiralada como elemento irradiante da antena helicoidal com refletor para uso nas faixas de VHF e UHF; e circular ou em loop, nas antenas de polarização circular e em diversas outras aplicações.

9.11.5.3 Tipo telescópica, talvez o mais usado, encontrado em receptores de rádio e TV portáteis.

9.11.5.4 Esse tipo é articulado por molas e cabos de aço colocados no interior dos tubos que formam as seções da antena. Para ser guardada, a antena é dobrada em seções que se encaixam novamente quando são desdobradas.

9.11.5.5 Com roscas nas extremidades que formam as seções (segmentos) da antena, geralmente na quantidade de quatro ou cinco. Na base de fixação pode existir uma mola em espiral para dar flexibilidade ao conjunto e permitir a inclinação da antena.

9.11.5.6 É de uso típico militar, em rádio transceptores veiculares, nas faixas de HF e VHF. Alguns desses tipos de antena podem ser vistos na Figura 9-18.

9.11.5.7 Tipos de antena de tubos metálicos:

- a) Yagi;
- b) telescópica; e
- c) log-periódica.

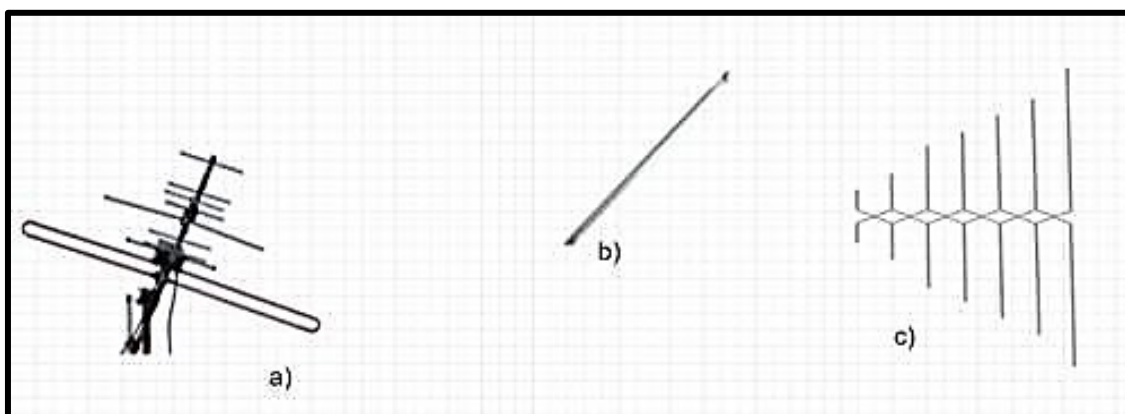


Fig 9-18 – Modelos de antenas de tubos metálicos Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.11.6 ANTENA VERTICAL

9.11.6.1 As antenas verticais destinadas às radiotransmissões em HF podem ser de dois tipos: mastro ou torre.

9.11.6.2 Antena Mastro

9.11.6.2.1 Assemelha-se a um poste, sendo instalada fixa, isolada do solo ou do piso, onde é assentada na posição vertical.

9.11.6.2.2 O ponto de alimentação da antena está na base do mastro. É usada, por exemplo, em embarcações de porte para o serviço móvel marítimo, na faixa de HF.

Geralmente trabalha com acoplador de antena, uma caixa metálica fixada próxima à base, que serve para casar a impedância da antena com a LT nas diferentes frequências de operação.

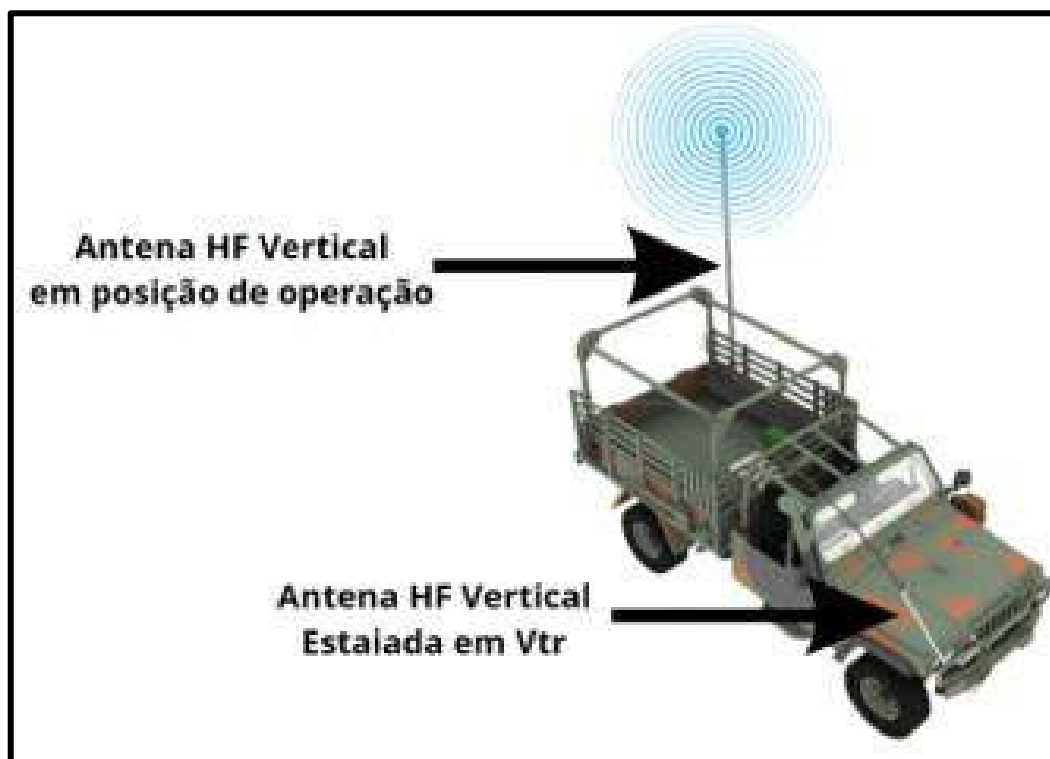


Fig 9-19 – Antena mastro

9.11.6.3 Antena Torre

9.11.6.3.1 É fabricada em seções com treliças metálicas, geralmente de ferro, para a montagem vertical. É bastante empregada em transmissoras de estações comerciais em AM (*broadcasting*), na faixa de 535 kHz a 1615 kHz, para radiar ondas terrestres.

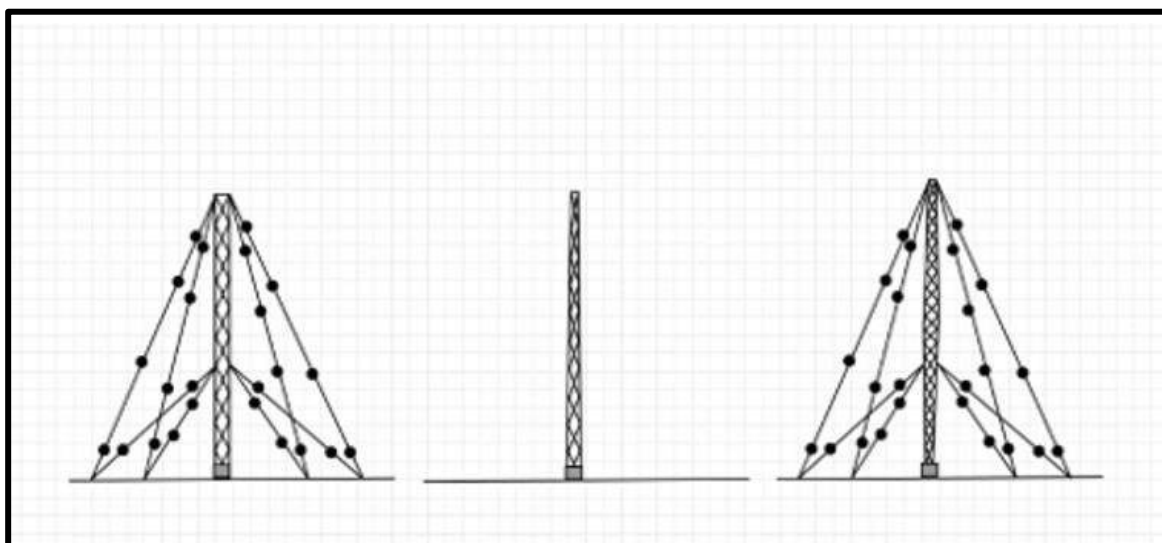


Fig 9-20 – Modelos de antenas torre - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.11.6.3.2 A torre é fixada sobre uma base de material isolante e a sustentação, na posição vertical, é proporcionada por cabos de aço, em segmentos intercalados por isoladores (bolinhas pretas da Figura 9-20) no estaiamento da torre.

9.11.6.3.3 Quando a torre não precisa ser estaiada, ela é denominada "autoportante". A Figura 9-20 mostra três diferentes modelos de torres, duas estaiadas e a do centro, que é autoportante.

9.11.6.3.4 A figura 9-20 apresenta três modelos diferentes de antenas do tipo torre.

9.11.7 ANTENA DE FITAS METÁLICAS

9.11.7.1 Antena de fitas metálicas pode ser de dois tipos:

- a) a de segmentos de fitas metálicas paralelas unidas por rebites, medindo cerca de 1,5 m, que, por sua robustez e flexibilidade, é típica de transceptores portáteis militares, na faixa de VHF; e
- b) a de conjunto de dupla trena, graduada em metro, formando um dipolo horizontal de meia onda, na faixa de HF. Nesse conjunto, existem duas fendas para saída das fitas nas extremidades, um dispositivo de travamento das fitas e um conector para receber a LT. Para formar o dipolo meia onda, o comprimento da fita é tomado na medida certa pelo cálculo do comprimento de onda.

9.11.8 ANTENA DE ABERTURA

9.11.8.1 Possui diferentes formas de abertura, de acordo com a Figura 9-21, e aplicações nas faixas de micro-ondas.

9.11.8.2 É comumente usada em conjunto com algum tipo de refletor, por isso o nome antena com refletor parabólico.

9.11.8.3 As figuras 9-21 e 9-22 apresentam antenas de micro-ondas com diferentes formas de abertura.

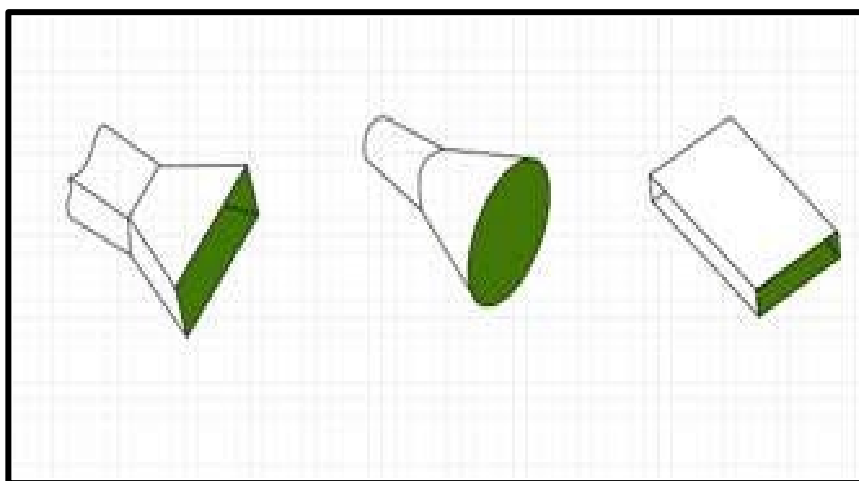


Fig 9-21 – Modelos de antenas de abertura Fonte: MEDEIROS, 2016.



Fig 9-22 – Modelo de antena de abertura com refletor parabólico

9.11.9 ANTENA MICROSTRIP

9.11.9.1 Ficou conhecida a partir dos anos de 1970, primariamente com aplicações em sistemas de comunicações de veículos espaciais, satélites e mísseis teleguiados. Hoje, também desponta em várias aplicações comerciais.

9.11.9.2 Consiste em um pedaço de metal, que pode ter qualquer formato (quadrado, retangular, circular etc.), montado sobre uma placa plana de substrato, com uma das faces aterrada, conforme mostra a Figura 9-23.

9.11.9.3 Apresenta como desvantagens: baixa eficiência, baixa potência irradiada, elevado Q, por vezes acima de 100 (sintonia muito aguda), baixa pureza de polarização e radiação espúria. Em versão mais atual, encontra-se a antena *microstrip* com estrutura fractal.

9.11.9.4 Na Fig 9-23, pode-se ver modelos de Antena microstrip.

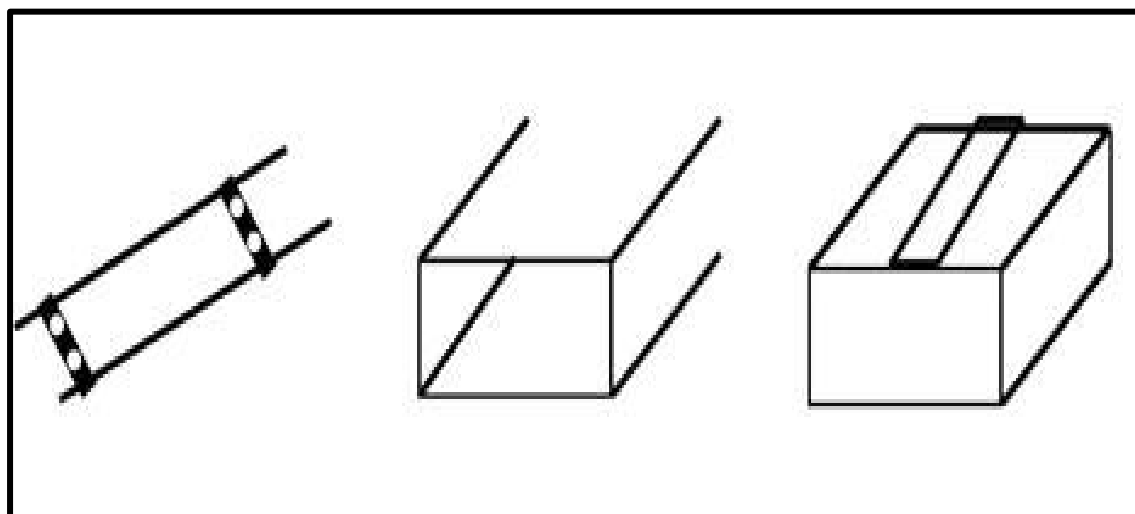


Fig 9-23 – Modelos de antenas microstrip - Fonte: MEDEIROS, 2016.

9.11.10 ARRANJO OU EMPILHAMENTO DE ANTENAS

9.11.10.1 Denomina-se arranjo (*array*) quando duas ou mais antenas são associadas e formam um conjunto com características próprias de radiação.

9.11.10.2 O arranjo é feito para sistemas multibandas, multifaixas ou ainda quando se deseja uma antena para operar em faixa mais larga de sintonia (BW).

MT 3.11-550

CAPÍTULO X

COMUNICAÇÕES POR FIO

10.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

10.1.1 As comunicações por fio de cobre são uma tecnologia de comunicações que utiliza cabos de cobre para transmitir sinais de informação, como áudio, vídeo, dados e voz, entre dispositivos.

10.1.2 A tecnologia de comunicação por fio de cobre tem sido utilizada há décadas e ainda é amplamente utilizada em diversas aplicações, como telefonia, internet, TV a cabo, sistemas de som e vídeo, redes de computadores, entre outras.

10.1.3 Os cabos de cobre geralmente são feitos de fios trançados ou sólidos, com isolamento em volta de cada fio, e são projetados para transmitir sinais analógicos e digitais com alta eficiência e confiabilidade.



Fig 10-1 – Comunicação por fio

10.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

10.2.1 As comunicações por fio ou cabo de cobre são baseadas na transmissão de sinais elétricos através de um fio condutor de cobre.

10.2.2 Os sinais elétricos são gerados por um transmissor, que converte as informações a serem transmitidas em sinais elétricos que são enviados através do fio de cobre.

10.2.3 Na extremidade receptora, um receptor obtém os sinais elétricos e os converte novamente em informações utilizáveis.

10.2.4 A transmissão de sinais elétricos através de um fio de cobre é possível porque o cobre é um bom condutor de eletricidade.

10.2.5 O fio de cobre é geralmente isolado para evitar interferências elétricas eletromagnéticas (EMI) ou interferências de radiofrequência (RFI) que podem prejudicar a qualidade do sinal.

10.2.6 A qualidade da comunicação através do fio de cobre pode ser afetada por vários fatores, incluindo a qualidade do fio, a distância entre o transmissor e o receptor, e as interferências EMI e RFI.

10.2.7 Para minimizar esses efeitos, muitas vezes são utilizados amplificadores, filtros e outros dispositivos para melhorar a qualidade do sinal.

10.3 TIPOS DE FIOS E CABOS

10.3.1 Os tipos de fios e cabos usados em comunicações por fio de cobre são classificados de acordo com o tipo de aplicação e com as especificações de desempenho necessárias.

10.3.2 A seguir, as principais classificações de fios e cabos usados em comunicações por fio de cobre: fios telefônicos, cabos coaxiais e cabos de par trançado.

10.3.3 FIOS TELEFÔNICOS

10.3.3.1 São cabos de cobre usados para transmissão de voz e dados em sistemas telefônicos.

10.3.3.2 Esses cabos são geralmente feitos de fios trançados com isolamento de polietileno ou PVC, e podem ser classificados de acordo com o número de pares de fios, como 2 pares, 4 pares e 8 pares. Os fios telefônicos são usados principalmente em sistemas de telefonia analógica e digital.

10.3.4 CABOS COAXIAIS

10.3.4.1 São cabos de cobre que consistem em um fio central rodeado por um isolante dielétrico, um revestimento condutor e uma capa externa isolante.

10.3.4.2 Os cabos coaxiais são usados em sistemas de TV a cabo e de internet, bem como em sistemas de segurança, para transmissão de sinais analógicos e digitais de alta frequência.

10.3.5 CABOS DE PAR TRANÇADO

10.3.5.1 São cabos de cobre que consistem em pares de fios torcidos em conjunto.

10.3.5.1.1 Esses cabos são usados em redes de computadores, como LAN, para transmissão de dados à alta velocidade.

10.3.5.1.2 Os cabos de par trançado são classificados de acordo com a categoria (Catg), sendo que as Catg 5e, Catg 6 e Catg 7 são as mais comuns.

10.3.5.2 Tipos de Cabos de Par Trançado

10.3.5.2.1 UTP – cabo UTP é o tipo mais comum de cabo de par trançado. Ele consiste em pares de fios de cobre que são torcidos juntos para reduzir a interferência eletromagnética. O cabo UTP não possui nenhum tipo de blindagem para reduzir a interferência eletromagnética e é usado em sistemas de comunicação de dados que não requerem altos níveis de proteção contra interferência.

10.3.5.2.2 FTP – cabo FTP é um tipo de cabo de par trançado que possui uma camada de blindagem de folha de alumínio que envolve os pares de fios de cobre. Essa camada de blindagem reduz a interferência eletromagnética que pode afetar o desempenho do cabo. O cabo FTP é usado em sistemas de comunicação de dados que requerem um nível moderado de proteção contra interferência.

10.3.5.2.3 STP – cabo STP é um tipo de cabo de par trançado que possui uma camada de blindagem metálica que envolve os pares de fios de cobre. Essa camada de blindagem reduz significativamente a interferência eletromagnética que pode afetar o desempenho do cabo. O cabo STP é usado em sistemas de comunicação de dados que requerem um alto nível de proteção contra interferência, como em ambientes industriais ou em sistemas de comunicação de dados de alta velocidade.

10.3.5.3 Categorias dos Cabos de Par Trançado

10.3.5.3.1 Catg 1 – este tipo de cabo foi projetado para ser usado em sistemas telefônicos analógicos, e é capaz de transmitir sinais de voz de baixa qualidade. Atualmente, a categoria 1 é considerada obsoleta.

10.3.5.3.2 Catg 2 – este tipo de cabo foi projetado para ser usado em sistemas telefônicos digitais, mas não é mais comum.

10.3.5.3.3 Catg 3 – este tipo de cabo é comumente empregado em sistemas telefônicos digitais e em redes de computadores com velocidades de até 10 Mbps. O Catg 3 é composto por quatro pares de fios e é capaz de transmitir sinais a uma distância de até 100 metros.

10.3.5.3.4 Catg 4 – este tipo de cabo foi projetado para ser usado em redes de computadores com velocidades de até 16 Mbps, mas não é mais comum.

10.3.5.3.5 Catg 5 – este tipo de cabo é amplamente usado em redes de computadores com velocidades de até 100 Mbps e é o tipo mais comum de cabo de par trançado. O Catg 5 é composto por quatro pares de fios e é capaz de transmitir sinais a uma distância de até 100 metros.

10.3.5.3.6 Catg 5e – este tipo de cabo é uma versão melhorada do Catg 5, projetada para suportar redes de computadores com velocidades de até 1 Gbps. O Catg 5e é composto por quatro pares de fios e é capaz de transmitir sinais a uma distância de até 100 metros.

10.3.5.3.7 Catg 6 – este tipo de cabo é projetado para suportar redes de computadores com velocidades de até 10 Gbps. O Catg 6 é composto por quatro pares de fios e é capaz de transmitir sinais a uma distância de até 55 metros.

10.3.5.3.8 Catg 6a – este tipo de cabo é uma versão melhorada do Catg 6, projetada para suportar redes de computadores com velocidades de até 10 Gbps a uma distância de até 100 metros.

10.3.5.3.9 Catg 7 – este tipo de cabo é projetado para suportar redes de computadores com velocidades de até 10 Gbps e é composto por quatro pares de fios blindados. O Catg 7 é capaz de transmitir sinais a uma distância de até 100 metros.



Fig 10-2 – Tipos de cabo

10.4 CARACTERÍSTICAS

10.4.1 As comunicações por fio de cobre são um método comum de transmissão de dados em sistemas de comunicação.

10.4.2 AS CARACTERÍSTICAS DAS COMUNICAÇÕES POR FIO DE COBRE INCLUEM:

- a) baixo custo – o cobre é um material relativamente barato, o que torna os cabos de cobre uma opção econômica para comunicações por fio;
- b) facilidade de instalação – os cabos de cobre são flexíveis e fáceis de instalar, o que os torna ideais para instalações de redes em edifícios e em outras estruturas;
- c) disponibilidade – o cobre é amplamente disponível em todo o mundo, o que significa que os cabos de cobre são fáceis de obter e substituir;
- d) velocidade – as comunicações por fio de cobre são capazes de transmitir dados em alta velocidade, o que as torna ideais para redes de computadores e outras aplicações de comunicação de dados;
- e) alcance – os cabos de cobre são capazes de transmitir sinais a uma distância limitada, geralmente algumas centenas de metros. No entanto, amplificadores e outros dispositivos podem ser usados para estender o alcance das comunicações por fio de cobre;
- f) manutenção – os cabos de cobre podem se desgastar ao longo do tempo e podem exigir manutenção e substituição regular para garantir a qualidade do sinal transmitido;
- g) compatibilidade – os cabos de cobre são compatíveis com uma vasta variedade de dispositivos e equipamentos, permitindo uma ampla gama de aplicações.

10.5 PROPRIEDADES

10.5.1 As propriedades das comunicações por fio de cobre são as características físicas e elétricas dos cabos de cobre que são usados para transmitir dados.

10.5.2 ALGUMAS DAS PRINCIPAIS PROPRIEDADES DAS COMUNICAÇÕES POR FIO DE COBRE INCLUEM:

- a) resistência elétrica – o cobre é um bom condutor elétrico, o que significa que os cabos de cobre têm uma baixa resistência elétrica. Isso permite que os sinais elétricos sejam transmitidos com eficiência através dos cabos;
- b) condutividade térmica – o cobre também é um bom condutor de calor, o que ajuda a dissipar o calor gerado pelos cabos durante a transmissão de dados;
- c) flexibilidade – os cabos de cobre são flexíveis e podem ser dobrados sem quebrar. Isso os torna fáceis de instalar e manipular;
- d) durabilidade – os cabos de cobre são geralmente resistentes a danos mecânicos e podem suportar cargas de tração sem se romperem. Isso ajuda a garantir que eles possam ser usados por um longo período;
- e) suscetibilidade à interferência eletromagnética – cabos de cobre são suscetíveis à interferência eletromagnética, que pode afetar a qualidade do sinal transmitido. No entanto, técnicas de blindagem e outros métodos podem ser usados para minimizar a interferência;
- f) atenuação do sinal – a atenuação do sinal é a perda de sinal que ocorre quando o sinal elétrico é transmitido através dos cabos de cobre. A atenuação do sinal aumenta com a distância e a frequência do sinal transmitido; e
- g) impedância – é a resistência elétrica que um cabo apresenta a um sinal elétrico de uma determinada frequência. Os cabos de cobre têm uma impedância característica que varia dependendo da sua construção e das suas propriedades elétricas.

10.6 COMPONENTES

10.6.1 Os componentes das comunicações por fio de cobre incluem vários elementos que trabalham juntos para transmitir dados de um dispositivo para outro.

10.6.2 ALGUNS DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DAS COMUNICAÇÕES POR FIO DE COBRE INCLUEM:

- a) cabos de cobre – são o componente principal das comunicações por fio de cobre. São compostos por fios de cobre torcidos juntos para reduzir a interferência eletromagnética e usados para transmitir sinais elétricos de um dispositivo para outro;
- b) conectores – são usados para conectar os cabos de cobre a dispositivos de rede, como computadores, roteadores e *switches*. Existem vários tipos de conectores de cabo, incluindo conectores RJ45 e conectores BNC;
- c) painéis de conexão – usados para agrupar vários cabos de cobre em um único ponto de conexão. São frequentemente usados em salas de servidor e em outros locais onde vários cabos de cobre precisam ser conectados a um único dispositivo ou switch;
- d) *switches* de rede – eles conectam vários dispositivos de rede em uma rede de computadores. Os *switches* de rede são usados para encaminhar dados de um dispositivo para outro e garantir que os dados cheguem ao destino correto;

- e) roteadores – são dispositivos que conectam diferentes redes de computadores. Eles são usados para encaminhar dados entre redes e garantir que os dados cheguem ao destino correto;
- f) modems – são usados para converter sinais digitais em sinais analógicos e vice-versa. Eles são usados para conectar computadores e outros dispositivos à Internet através de linhas telefônicas ou a outras conexões de rede;
- g) ferramentas de teste – são usadas para testar a qualidade do sinal transmitido pelos cabos de cobre. Elas podem ser usadas para detectar problemas de interferência e outras questões que possam afetar o desempenho do sistema de comunicação;
- h) dispositivos de proteção contra surtos – são usados para proteger os componentes da rede contra danos causados por sobretensões e picos de energia;
- i) cabos de *patch* – são usados para conectar dispositivos de rede, como computadores, a um painel de conexão ou *switch*. Eles são geralmente curtos e são usados para fazer conexões temporárias em uma rede;
- j) adaptadores – são usados para converter um tipo de conexão em outro. Por exemplo, um adaptador pode ser usado para conectar um cabo de cobre com um conector RJ45 a um dispositivo que possui uma porta de conexão diferente;
- k) sistemas de gestão de cabos – são usados para organizar os cabos de cobre e minimizar a desordem e a confusão. Eles podem incluir bandejas de cabos, canaletas e outros acessórios de gerenciamento de cabos; e
- l) fontes de alimentação – são usadas para fornecer energia aos dispositivos de rede, como *switches* e roteadores. Elas podem ser integradas aos dispositivos ou podem ser unidades independentes.

10.7 VANTAGENS

10.7.1 As comunicações por fio de cobre têm vários benefícios que as tornam uma escolha popular para a transmissão de dados.

10.7.2 ALGUNS DOS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS INCLUEM:

- a) confiabilidade – as comunicações por fio de cobre são geralmente mais confiáveis do que as comunicações sem fio, pois os cabos de cobre fornecem uma conexão física estável entre dispositivos;
- b) velocidade – as comunicações por fio de cobre são capazes de transmitir dados a velocidades muito altas, o que as torna ideais para redes de computadores e outras aplicações de comunicação de dados;
- c) segurança – as comunicações por fio de cobre são menos suscetíveis à interceptação do que as comunicações sem fio, pois os sinais elétricos são transmitidos através de um cabo físico;
- d) baixa latência – as comunicações por fio de cobre geralmente apresentam uma latência mais baixa do que as comunicações sem fio, o que significa que os dados são transmitidos mais rapidamente e com menos atraso;
- e) conexão dedicada – as comunicações por fio de cobre fornecem uma conexão dedicada entre dispositivos, o que significa que a largura de banda e a qualidade do sinal são mais consistentes do que nas conexões sem fio;
- f) baixo custo – os cabos de cobre são relativamente baratos e amplamente disponíveis, o que torna as comunicações por fio de cobre uma opção econômica para muitas aplicações; e

g) longa distância – as comunicações por fio de cobre são capazes de transmitir sinais a longas distâncias sem perda significativa de sinal, o que as torna ideais para redes de longa distância.

10.8 DESVANTAGENS

10.8.1 Embora as comunicações por fio de cobre tenham muitos benefícios, elas também apresentam algumas dificuldades e alguns desafios que precisam ser considerados.

10.8.2 ALGUMAS DAS PRINCIPAIS DIFICULDADES DAS COMUNICAÇÕES POR FIO DE COBRE INCLUEM:

- a) interferência eletromagnética – os sinais elétricos transmitidos através dos cabos de cobre são suscetíveis à interferência eletromagnética, o que pode afetar a qualidade do sinal e causar problemas de desempenho;
- b) atenuação do sinal – é a perda de sinal que ocorre à medida que o sinal elétrico é transmitido através dos cabos de cobre. Tal fenômeno aumenta com a distância e a frequência do sinal, o que pode limitar a capacidade de transmitir dados em longas distâncias ou a velocidades muito altas, necessitando de equipamentos adicionais para compensar essa perda;
- c) limitações de largura de banda – as comunicações por fio de cobre têm uma largura de banda limitada em comparação com outras tecnologias de comunicação, como a fibra óptica. Isso significa que a capacidade de transmitir grandes quantidades de dados em alta velocidade pode ser limitada;
- d) instalação e manutenção – a instalação e a manutenção de sistemas de comunicação por fio de cobre podem ser trabalhosas e dispendiosas. Os cabos de cobre precisam ser instalados corretamente e podem precisar de manutenção regular para garantir que a qualidade do sinal seja mantida;
- e) vulnerabilidade física – os cabos de cobre são vulneráveis a danos físicos, como cortes ou amassados, o que pode afetar a qualidade do sinal e exigir reparos ou substituições;
- f) limitações de distância – as comunicações por fio de cobre são limitadas em termos de distâncias que podem ser percorridas sem perda significativa de sinal. Isso significa que podem ser necessários amplificadores ou outros dispositivos para estender a capacidade de transmissão em longas distâncias; e
- g) limitações de mobilidade – as comunicações por fio de cobre exigem que os dispositivos estejam fisicamente conectados aos cabos de cobre, o que significa que a mobilidade dos dispositivos pode ser limitada.

10.9 CUSTO

10.9.1 O custo das comunicações por fio de cobre pode variar dependendo de vários fatores, incluindo a quantidade de cabos necessários, a distância que os cabos precisam percorrer, a qualidade dos cabos e dos componentes da rede, e a mão de obra necessária para instalar e configurar o sistema de comunicação.

10.9.2 Os cabos de cobre em si são relativamente baratos em comparação com outros

tipos de cabos de comunicação, como cabos de fibra óptica. No entanto, outros componentes de rede, como conectores, *switches* e roteadores, podem ser mais caros.

10.9.3 Além disso, a instalação e a configuração de um sistema de comunicação por fio de cobre podem ser dispendiosas, especialmente em grandes edifícios ou redes de longa distância. Isso pode incluir a instalação de bandejas de cabos, canaletas, painéis de conexão e outros acessórios de gerenciamento de cabos, além de trabalhos de passagem de cabos e de outros serviços de instalação.

10.9.4 Outro fator que pode afetar o custo das comunicações por fio de cobre é a manutenção e o reparo do sistema. Se houver problemas com os cabos ou componentes da rede, pode ser necessário contratar serviços de manutenção ou reparo, o que pode ser caro.

10.9.5 Em geral, as comunicações por fio de cobre são uma opção econômica em comparação com outras tecnologias de comunicação, como a fibra óptica.

10.9.6 No entanto, o custo pode variar, dependendo da complexidade e escala do sistema de comunicação, bem como dos custos associados à instalação, à configuração, à manutenção e ao reparo.

10.10 FORMAS DE EMPREGO

- As comunicações por fio de cobre são amplamente utilizadas em uma variedade de aplicações e indústrias, incluindo:

- a) redes de computadores – usam comunicações por fio de cobre para conectar dispositivos em um ambiente de rede local, como em escritórios, escolas e empresas. Os cabos de cobre são usados para transmitir dados entre computadores, servidores, switches e outros dispositivos de rede;
- b) sistemas de telecomunicações – as comunicações por fio de cobre são usadas em sistemas de telecomunicações para transmitir voz e dados através de redes telefônicas. Os cabos de cobre são usados para conectar linhas telefônicas e outros dispositivos de telecomunicação, como modems e roteadores;
- c) sistemas de segurança – assim como sistemas de vigilância por vídeo e sistemas de alarme, eles usam comunicações por fio de cobre para transmitir sinais entre dispositivos. Os cabos de cobre são usados para conectar câmeras, sensores de movimento e outros dispositivos de segurança a uma central de monitoramento;
- d) sistemas de áudio e vídeo – as comunicações por fio de cobre são usadas nestes sistemas para transmitir sinais de áudio e vídeo entre dispositivos, como em sistemas de home theater ou em estúdios de gravação. Os cabos de cobre são usados para conectar alto-falantes, receptores, TVs e outros dispositivos de áudio e vídeo; e
- e) sistemas de automação residencial – usam comunicações por fio de cobre para conectar dispositivos e controladores em toda a casa. Os cabos de cobre são usados para transmitir sinais entre dispositivos, como termostatos, sistemas de iluminação, sistemas de segurança e dispositivos de entretenimento.

CAPÍTULO XI

COMUNICAÇÕES POR FIBRA ÓPTICA

11.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

11.1.1 As comunicações por fibra óptica são uma tecnologia de transmissão de dados que utilizam cabos compostos por filamentos finos de vidro ou plástico, através dos quais a informação é transmitida em forma de sinais de luz.

11.1.2 Essa tecnologia é amplamente utilizada em redes de comunicação de alta velocidade, tanto em ambientes corporativos quanto residenciais, devido à sua capacidade de transmitir grandes quantidades de dados a distâncias maiores e com mais eficiência do que outras tecnologias de comunicação.

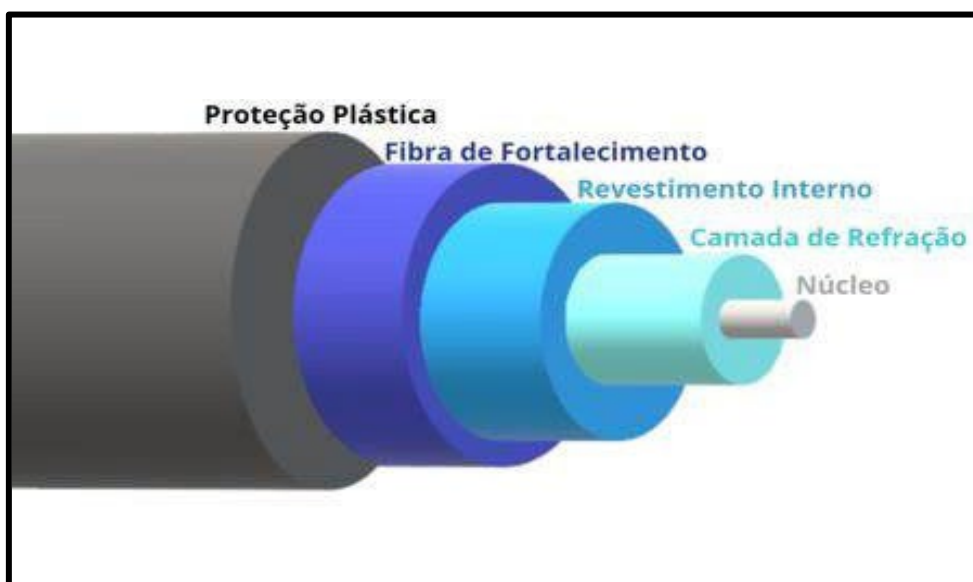


Fig 11-1 – Constituição da fibra óptica

11.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

11.2.1 O princípio de funcionamento da comunicação por fibra óptica é baseado na reflexão interna total da luz dentro da fibra óptica.

11.2.2 Quando um feixe de luz é enviado para dentro de uma fibra óptica, ele é mantido confinado dentro do núcleo da fibra devido à diferença de índice de refração entre o seu núcleo e o seu revestimento.

11.2.3 Isso faz com que a luz seja refletida continuamente no interior da fibra, permitindo que a informação seja transmitida em forma de pulsos de luz.

11.2.4 Esses pulsos de luz são transmitidos por toda a extensão da fibra, sendo recebidos no outro extremo e convertidos, novamente, em sinais elétricos.

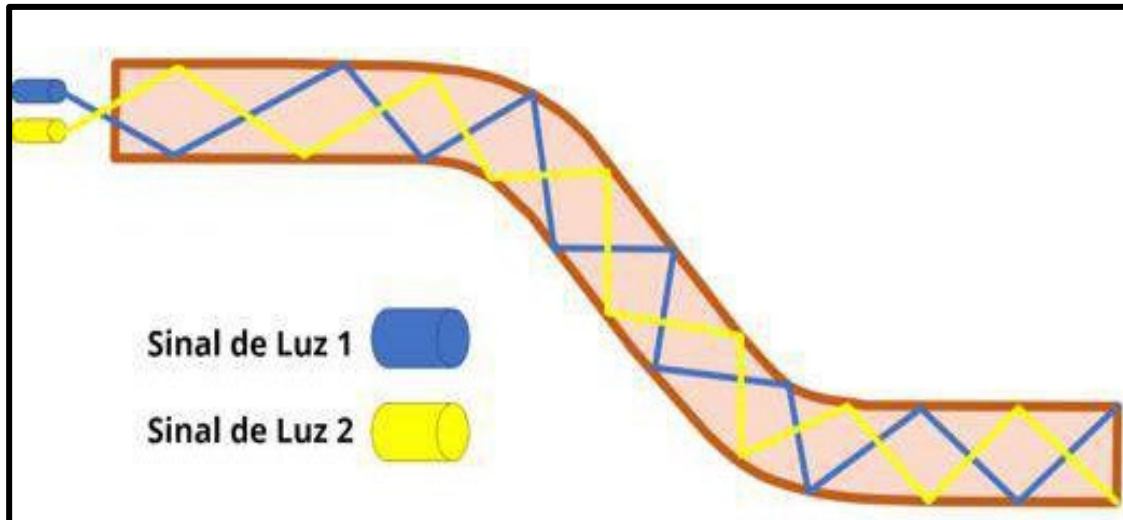


Fig 11-2 – Comunicação por fibra óptica

11.3 TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

11.3.1 Existem dois tipos de fibras ópticas: as fibras monomodo e as fibras multimodo.

11.3.2 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO

11.3.2.1 As fibras monomodo são aquelas que possuem núcleos muito finos, com diâmetros em torno de 8 a 10 micrômetros ($8 \cdot 10^{-6}$ a $10 \cdot 10^{-6}$ m). Essa característica permite que somente um raio de luz seja transmitido através da fibra, tornando-a ideal para transmissões de longa distância e de alta velocidade.

11.3.2.2 Essas fibras utilizam lasers como fontes de luz, pois eles emitem luz em comprimentos de onda muito estreitos, permitindo que apenas um modo de transmissão seja propagado na fibra.

11.3.2.3 As fibras monomodo são mais caras e difíceis de instalar do que as fibras multimodo, mas oferecem uma largura de banda muito maior e perdas menores de sinal, o que as torna ideais para aplicações em redes de longa distância, como em cabos submarinos.

11.3.3 FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO

11.3.3.1 As fibras multimodo são aquelas que possuem núcleos mais grossos, com diâmetros que variam de 50 a 62,5 micrômetros ($50 \cdot 10^{-6}$ a $62,5 \cdot 10^{-6}$ m).

11.3.3.2 Essa característica permite que vários modos de transmissão de luz sejam propagados simultaneamente na fibra.

11.3.3.3 Essas fibras utilizam LEDs como fontes de luz, pois eles emitem luz em comprimentos de onda mais largos, permitindo a propagação de vários modos de transmissão.

11.3.3.4 As fibras multimodo são mais baratas e mais fáceis de instalar do que as fibras monomodo, mas possuem uma largura de banda menor e perdas maiores de sinal, o que as torna mais adequadas para aplicações em redes de curta distância, como em redes locais.

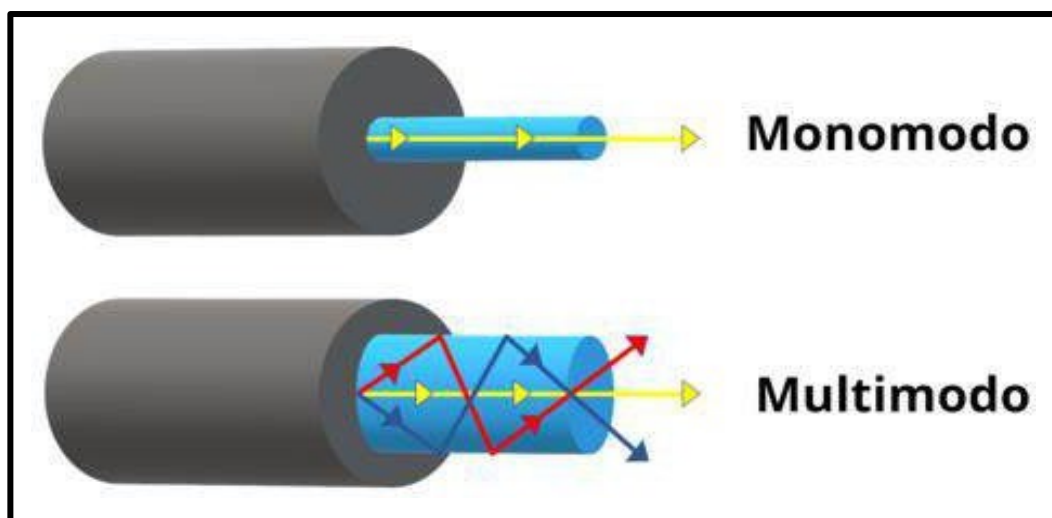


Fig 11-3 – Comparativo da fibra óptica Monomodo e Multimodo

11.4 CARACTERÍSTICAS

11.4.1 As comunicações por fibra óptica possuem diversas características que as tornam uma opção superior em relação a outras tecnologias de comunicação, como:

11.4.2 DURABILIDADE – as fibras ópticas são mais duráveis do que outras tecnologias de comunicação, como os cabos de cobre, pois são mais resistentes a danos físicos, como a tensão, e a efeitos relacionados às intempéries, como a oxidação. Isso significa que elas exigem menos manutenção e têm uma vida útil mais longa.

11.4.3 ECONOMIA DE ENERGIA – as comunicações por fibra óptica também consomem menos energia do que outras tecnologias de comunicação, como os cabos de cobre. Isso se deve ao fato de que as fibras ópticas não requerem energia elétrica para transmitir sinais de luz, o que ajuda a reduzir o consumo de energia e os custos de operação.

11.4.4 FLEXIBILIDADE – as fibras ópticas são mais flexíveis do que outros cabos de comunicação, como os de cobre, o que permite que elas sejam instaladas em locais com espaço limitado e com mais facilidade. Isso as torna ideais para a instalação em ambientes urbanos e industriais, onde há pouco espaço para a instalação de cabos de comunicação.

11.4.5 MENOR PESO E DIMENSÕES – as fibras ópticas são muito mais leves e finas do que os cabos de cobre, o que torna sua instalação mais fácil e rápida. Além disso, seu tamanho compacto e sua flexibilidade permitem que elas sejam instaladas em locais com espaço limitado, como em prédios comerciais e residenciais.

11.5 PROPRIEDADES

11.5.1 As propriedades das comunicações por fibra óptica referem-se às características físicas e ópticas das fibras ópticas que são utilizadas para a transmissão de dados.

11.5.2 ALGUMAS DAS PROPRIEDADES MAIS IMPORTANTES INCLUEM:

- a) índice de refração – é uma medida da rapidez com que a luz se propaga através de um meio. Nas fibras ópticas, o índice de refração é maior no núcleo do que no revestimento, o que permite a reflexão interna total da luz e a transmissão de sinais ópticos;
- b) dispersão – é uma propriedade que afeta a largura de banda da fibra óptica e a qualidade do sinal transmitido. Ela é causada pela diferença na velocidade da luz em diferentes comprimentos de onda. A dispersão pode ser de dois tipos, a dispersão modal e a dispersão cromática;
- c) atenuação – refere-se à perda de sinal que ocorre durante a transmissão de dados através da fibra óptica. Ela pode ser causada por diversos fatores, como impurezas na fibra, curvaturas e efeitos térmicos;
- d) capacidade de potência – é uma medida da quantidade de energia que pode ser transmitida através da fibra óptica. Ela é influenciada pelo diâmetro do núcleo da fibra, pelo comprimento da fibra e pelo tipo de fonte de luz utilizada;
- e) sensibilidade à temperatura – as fibras ópticas são sensíveis à temperatura, podendo sofrer variações de comprimento e índice de refração com as mudanças de temperatura. Isso pode afetar a qualidade do sinal e a capacidade de transmissão da fibra; e
- f) polarização – é uma propriedade que se refere à orientação da luz que é transmitida pela fibra óptica. Ela pode afetar a qualidade do sinal e a capacidade de transmissão da fibra, e é influenciada pelo tipo de fonte de luz utilizada e pelos conectores utilizados.

11.6 COMPONENTES

11.6.1 As comunicações por fibra óptica envolvem vários componentes que são importantes para garantir a transmissão de dados com qualidade e eficiência.

11.6.2 ALGUNS DOS PRINCIPAIS COMPONENTES INCLUEM:

- a) fonte de luz é um componente que emite luz na forma de pulsos de luz que são transmitidos através da fibra óptica. As fontes mais comuns utilizadas em comunicações por fibra óptica são os LEDs e os lasers;
- b) cabo de fibra óptica é o componente que contém as fibras ópticas utilizadas para a transmissão de dados. Ele é composto por uma ou mais fibras ópticas, um revestimento apertado e um revestimento solto para proteção mecânica, além de um conector para ligar a fibra óptica a outros componentes da rede;
- c) conector é um componente utilizado para conectar as fibras ópticas aos equipamentos de rede. Ele é importante para garantir a transmissão de sinal com qualidade e eficiência, e existem diversos tipos de conectores disponíveis no mercado;
- d) amplificador óptico é um componente utilizado para amplificar o sinal óptico durante

a transmissão de dados em longas distâncias. Ele é capaz de aumentar a intensidade do sinal óptico sem distorcer ou comprometer a qualidade do sinal;

e) OLT (*Optical Line Terminal*) é o equipamento que se conecta à rede de fibra óptica e gerencia as conexões de fibra óptica para os usuários finais. Ela é responsável por controlar o tráfego de dados na rede, gerenciar as conexões e garantir a segurança dos dados;

f) ONT (*Optical Network Terminal*) é um dispositivo que é instalado no local do usuário final e conectado à OLT através da fibra óptica. Ela é responsável por converter os sinais ópticos em sinais elétricos que podem ser utilizados pelos equipamentos de rede do usuário final;

g) ONU (*Optical Network Unit*) é um dispositivo semelhante à ONT, mas é utilizado em redes de acesso mais amplas, como em prédios residenciais e comerciais. Ela é responsável por fornecer serviços de comunicação de alta velocidade para os usuários finais;

h) *Splitter* é um dispositivo utilizado para dividir o sinal óptico em vários canais de comunicação. Ele é utilizado em redes de acesso para dividir o sinal entre várias ONT ou ONU;

i) acoplador é utilizado para conectar duas ou mais fibras ópticas de forma eficiente. Ele é utilizado em redes de acesso para conectar as fibras ópticas da OLT às ONT ou ONU;

j) *Switches* são dispositivos utilizados para conectar diferentes equipamentos de rede e direcionar o tráfego de dados de forma eficiente. Eles são utilizados em redes de acesso para conectar as ONT ou ONU aos equipamentos de rede do usuário final, como roteadores e computadores;

k) *Patch Cord* é um cabo de fibra óptica utilizado para conectar equipamentos de rede, como roteadores e *switches*, à rede de fibra óptica. Eles são utilizados para garantir a transmissão de dados com qualidade e baixa perda de sinal;

l) *Pigtail* é um cabo de fibra óptica que é utilizado para conectar os componentes da rede de fibra óptica, como os *splitters* e os acopladores. Eles são utilizados para garantir a conexão entre as diferentes partes da rede;

m) conversor de mídia é um dispositivo que converte o sinal óptico em sinais elétricos ou vice-versa. Eles são utilizados em redes de fibra óptica para conectar equipamentos que não suportam a comunicação por fibra óptica, como câmeras de segurança e telefones;

n) adaptador de fibra óptica é utilizado para ligar dois conectores de fibra óptica. Eles são utilizados em redes de fibra óptica para garantir a conexão entre as diferentes partes da rede;

o) protetor de emenda é um dispositivo utilizado para proteger as emendas entre os cabos de fibra óptica. Eles são utilizados em redes de fibra óptica para garantir a integridade da conexão e minimizar as perdas de sinal; e

p) caixa de distribuição óptica (ODF) é utilizada para conectar os cabos de fibra óptica aos diferentes componentes da rede. Ela é responsável por direcionar o tráfego de dados para os equipamentos corretos e garantir a conexão entre as diferentes partes da rede.

11.6.3 Esses são alguns dos principais componentes utilizados nas comunicações por fibra óptica. Cada componente desempenha um papel importante na garantia da qualidade e eficiência da transmissão de dados através das fibras ópticas.

11.7 VANTAGENS

- As comunicações por fibra óptica possuem diversas vantagens em relação a outras tecnologias de comunicação, como pode se ver a seguir.

11.7.1 VELOCIDADE – as comunicações por fibra óptica são capazes de transmitir dados a velocidades muito altas. Isso significa que elas são ideais para aplicações que exigem alta velocidade de transmissão de dados.

11.7.2 LARGURA DE BANDA – as fibras ópticas apresentam largura de banda elevada, o que significa que elas podem transmitir vários canais de comunicação simultaneamente. Isso permite uma maior capacidade de transmissão de dados e um suporte para serviços de alta qualidade, como *streaming* de vídeo em alta definição e jogos online.

11.7.3 IMUNIDADE À INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA – as fibras ópticas são imunes à interferência eletromagnética, o que significa que elas não sofrem interferências causadas por fontes externas, como dispositivos eletrônicos e campos magnéticos.

11.7.4 PERDA DE SINAL REDUZIDA – as fibras ópticas apresentam uma perda de sinal reduzida durante a transmissão de dados em longas distâncias. Isso significa que a qualidade do sinal se mantém alta mesmo em distâncias muito grandes.

11.7.5 SEGURANÇA – as fibras ópticas são mais seguras do que outras tecnologias de comunicação, como os cabos de cobre, pois elas não emitem sinais eletromagnéticos que possam ser interceptados por *hackers*. Isso as torna ideais para a transmissão de dados sensíveis e confidenciais.

11.8 DESVANTAGENS

- As comunicações por fibra óptica possuem as seguintes desvantagens: custo, fragilidade e complexidade, especificadas a seguir.

11.8.1 CUSTO – as fibras ópticas podem ser mais caras do que outras tecnologias de comunicação, como os cabos de cobre. Isso se deve ao custo mais elevado dos componentes e equipamentos utilizados em suas comunicações.

11.8.2 FRAGILIDADE – as fibras ópticas são mais frágeis do que outras tecnologias de comunicação, como os cabos de cobre, e podem ser danificadas por curvaturas excessivas ou torção excessiva. Isso significa que elas exigem mais cuidado e atenção durante a instalação e manutenção.

11.8.3 COMPLEXIDADE – as comunicações por fibra óptica podem ser mais complexas do que outras tecnologias de comunicação, o que significa que elas exigem mais conhecimento técnico e maior habilidade para instalação e manutenção.

11.9 CUSTO

11.9.1 O custo das comunicações por fibra óptica pode variar dependendo de vários fatores, como a infraestrutura existente, a distância a ser percorrida, o tipo de fibra óptica e o equipamento necessário para instalação e manutenção da rede.

11.9.2 Algumas das principais despesas envolvidas na implementação de uma rede de comunicação por fibra óptica são destacadas a seguir.

11.9.2.1 Custo de materiais – isso inclui o custo de fibras ópticas, cabos de fibra óptica, conectores, acopladores, *splitters*, *switches*, entre outros componentes necessários para a construção da rede.

11.9.2.2 Custo de mão de obra – a instalação e manutenção de uma rede de comunicação por fibra óptica exige uma equipe técnica especializada e treinada para realizar essas tarefas. Portanto, o custo da mão de obra pode ser significativo.

11.9.2.3 Custo de equipamentos – além dos componentes de fibra óptica, a construção de uma rede de comunicação por fibra óptica também exige o uso de equipamentos especializados, como equipamentos de teste, ferramentas e veículos de trabalho.

11.9.2.4 Custo de licenças e permissões – para instalar e operar uma rede de comunicação por fibra óptica, podem ser necessárias licenças e permissões especiais de órgãos regulatórios e governamentais, o que pode aumentar os custos.

11.9.2.5 Custo de manutenção – a manutenção de uma rede de comunicação por fibra óptica é crucial para garantir seu desempenho e sua segurança. Por isso, os custos de manutenção e reparação da rede também precisam ser considerados.

11.9.3 Em geral, as comunicações por fibra óptica podem ser mais caras do que outras tecnologias de comunicação, como o cabo de cobre. No entanto, os custos podem variar significativamente, dependendo das necessidades específicas de cada projeto e do tipo de fibra óptica e equipamentos escolhidos.

11.10 FORMAS DE EMPREGO

11.10.1 As comunicações por fibra óptica podem ser empregadas de diversas formas em diferentes setores da economia, tais como: setor de telecomunicações, setor médico, setor de energia, setor militar, setor bancário, setor financeiro e setor de educação.

11.10.2 TELECOMUNICAÇÕES – as comunicações por fibra óptica são amplamente utilizadas no setor de telecomunicações para oferecer serviços de internet, telefone e televisão de alta qualidade e velocidade para consumidores e empresas.

11.10.3 SETOR MÉDICO – as comunicações por fibra óptica são utilizadas em equipamentos médicos avançados, como endoscópios e microscópios, para fornecer imagens de alta resolução em tempo real.

11.10.4 SETOR DE ENERGIA – as comunicações por fibra óptica são utilizadas em sistemas de monitoramento de energia, como subestações elétricas, para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema de distribuição.

11.10.5 SETOR MILITAR – as comunicações por fibra óptica são utilizadas em sistemas de comunicação militar para garantir uma transmissão de dados rápida e segura.

11.10.6 SETOR BANCÁRIO E FINANCEIRO – as comunicações por fibra óptica são utilizadas em redes de alta velocidade para transações financeiras e serviços bancários *on-line*.

11.10.7 SETOR DE EDUCAÇÃO – as comunicações por fibra óptica são utilizadas em escolas e universidades para fornecer serviços de internet de alta velocidade e facilitar o acesso a conteúdo educacional *on-line*.

GLOSSÁRIO

PARTE I – ABREVIATURAS E SIGLAS

A

Abreviaturas/Siglas	Significado
A	Ampère
A Op	Área de Operações
AC	Corrente Alternada
AM	Modulação de Amplitude
ASK	<i>Amplitude Shift Keying</i>

B

Abreviaturas/Siglas	Significado
B	Bel

C

Abreviaturas/Siglas	Significado
Catg	Categoria
C Dout Ex	Centro de Doutrina do Exército
C Ex	Corpo de Exército
C Mil A	Comandos Militares de Área
C ²	Comando e Controle
CC ²	Centro de Comando e Controle/Célula de Comando e Controle
CCC	Central de Comutação e Controle
CCOp	Centro de Coordenação de Operações
CITEx	Centro Integrado de Telemática do Exército

D

Abreviaturas/Siglas	Significado
dB	Decibel
DC	Corrente Contínua
D.D.P	Diferença de Potencial
DE	Divisão de Exército
DEMUX	Demultiplexação
DMT	Doutrina Militar Terrestre

E

Abreviaturas/Siglas	Significado
EB	Exército Brasileiro
EBChat	Serviço de Mensageria Eletrônica do Exército

EBDrive	Serviço de Compartilhamento de Arquivos do Exército
EBNet	Rede de Dados Corporativa Privativa do Exército
EBMail	Correio Corporativo Pessoal
EHF	<i>Extremely High Frequency</i>
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiation Power</i>
EM	Estado-Maior
EMI	Interferências Elétricas Eletromagnética
Esc	Escalão
eV	Elétron-volt

F

Abreviaturas/Siglas	Significado
F	Força
F Ter	Força Terrestre
FA	Forças Armadas
FDM	Multiplexação por Divisão de Frequência
FDMA	Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência
FM	Modulação de Frequência
FOT	Frequência Ótima de Trabalho
FS	Força Singular
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>

G

Abreviaturas/Siglas	Significado
GLO	Garantia da Lei e da Ordem
GU	Grande Unidade

H

Abreviaturas/Siglas	Significado
HEO	Órbita Altamente Elíptica
HF	Alta Frequência (<i>High Frequency</i>)
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto
Hz	Hertz

I

Abreviaturas/Siglas	Significado
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IT	Isolado-Terra

L

Abreviaturas/Siglas	Significado
LAN	Rede de Área Local
LEO	Órbita Terrestre Baixa
LoS	Linha de Visada
LT	Linha de Transmissão
LUF	Mínima Frequência de Utilização

M

Abreviaturas/Siglas	Significado
MD	Ministério da Defesa
MEM	Material de Emprego Militar
MEO	Órbita Terrestre Média
MPLS	Comutação de Rótulo Multiprotocolo
MTO	Módulo de Telemática Operacional
MUF	Frequência Máxima de Utilização
MUX	Multiplexação

N

Abreviaturas/Siglas	Significado
NA	Nós de acesso
NLoS	Além da Linha de Visada

O

Abreviaturas/Siglas	Significado
OA	Observadores de Artilharia
ODF	Caixa de Distribuição Óptica
OOK	<i>On Off Keying</i>
OLT	<i>Optical Line Terminal</i>
OM	Organização Militar
OMDS	Organizações Militares Diretamente Subordinadas
ONT	<i>Optical Network Terminal</i>
ONU	<i>Optical Network Unit</i>
Op	Operações
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>

P

Abreviaturas/Siglas	Significado
PAM	<i>Pulse Amplitude Modulation</i>
PAC	Posto Avançado de Combate
PC	Posto de Comando
PPM	Modulação de Posição do Impulso (<i>Pulse Position Modulation</i>)

PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
-----	---------------------------

R

Abreviaturas/Siglas	Significado
RF	Radiofrequência
RFI	Interferências de Radiofrequência
RICH	Rede Integrada de Comunicações em HF
RITEx	Rede Integrada de Telecomunicações do Exército
RRF	Rede Rádio Fixa
RRFP	Rede Rádio Fixa Principal
RRFS	Rede Rádio Fixa Secundária

S

Abreviaturas/Siglas	Significado
S Com Ctc	Sistema de Comunicações Críticas
SAM	Sistema de Assinante Móvel
SARP	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SCA	Sistema de Comunicações de Área
SCC	Sistema de Comunicações de Comando
SC ² Ex	Sistema de Comando e Controle do Exército
SC ² FTer	Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre
SEC ² Ex	Sistema Estratégico de Comando e Controle do Exército
SGDC	Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações
SHF	Faixa de Frequência Super Alta (<i>Super High Frequency</i>)
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIDOMT	Sistema de Doutrina Militar Terrestre
SINFOEx	Sistema de Informação do Exército
SISCOMIS	Sistema de Comunicações Militares por Satélite
SisMC ²	Sistema Militar de Comando e Controle
SISTAC	Sistema Tático de Comunicações
SisTEx	Sistema de Telemática do Exército
SMEM	Sistemas e Materiais de Emprego Militar
SMRP	Sistemas de Munições Remotamente Pilotadas
SMTP	Protocolo Simples de Transferência de Correio
SNT	Sistema Nacional de Telecomunicações
SPED	Sistema de Protocolo Eletrônico de Documentos
SRDT	Sistema de Radiocomunicação Digital Troncalizado
SSB	Banda Lateral Única
SSL/TLS	<i>Transport Layer Security/ Secure Sockets Layer</i>
STP	Par Trançado Blindado
SU	Subunidade

T

Abreviaturas/Siglas	Significado
Tbps	Terabits por segundo
TDM	Multiplexação por Divisão de Tempo
TDMA	Acesso Múltiplo por Divisão De Tempo
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicações
TN	Terra-Neutro
TO	Teatro de Operações
TT	Terra-Terra

U

Abreviaturas/Siglas	Significado
U	Unidade
UHF	Frequência Ultra Alta (<i>Ultra-high Frequency</i>)
UTP	Par Trançado Não Blindado

V

Abreviaturas/Siglas	Significado
VHF	Frequência Muito Alta (<i>Very High Frequency</i>)
VLAN	Conexão Virtual de Rede
VLf	(<i>Very Low Frequency</i>)
VoIP	Voz sobre Protocolo de Internet
V	Volt
VPN	Rede Privada Virtual

W

Abreviaturas/Siglas	Significado
W	Watt
WAN	Rede de Longa Distância

Z

Abreviaturas/Siglas	Significado
ZA	Zona de Administração
Z Aç	Zona de Ação
ZA	Zona de Administração
ZD	Zona de Defesa

REFERÊNCIAS

ANTENAS. Disponível em: https://www.cesarkallas.net/arquivos/faculdade-pos/TP301-codificacao-fonte/01%20-%20Cap%201%20-%20Antenas_119.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.

BRASIL. Aeronáutica. Comando do Preparo. **Manual de Busca e Salvamento em Combate (CSAR)**. MCA 55-45. Brasília, DF: COMPREP, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Planejamento e Emprego da Inteligência Militar**. EB70-MC-10.307. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2016.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear nas Operações**. EB70-MC-10.234. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Defesa Antiaérea**. EB70-MC-10.231. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Defesa Antiaérea nas Operações**. EB70-MC-10.235. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Guerra Cibernética**. EB70-MC-10.232. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Operações**. EB70-MC-10.223. 5. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Operações Aeromóveis**. EB70-MC-10.218. 2. ed. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Operações Interagências**. MD33-M-12. 2. ed. Brasília, DF: MD, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Operações Ofensivas e Defensivas**. EB70-MC-10.202. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Planejamento e Coordenação de Fogos**. EB70-MC-10.346. 3. ed. Brasília, DF: COTER, 2017.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Cavalaria nas Operações**. EB70-MC-10.222. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2018.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Engenharia nas Operações**. EB70-MC-10.237. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2018.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Exploração em Radiotelegrafia e Telegrafia**. EB70-MT-10.409. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Infantaria nas Operações**. EB70-MC-10.228. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2018.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Aviação do Exército nas Operações**. EB70-MC-10.204. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Guerra Eletrônica na Força Terrestre**. EB70-MC-10.201. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Logística nas Operações**. EB70-MC-10.216. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Artilharia de Campanha nas Operações**. EB70-MC-10.224. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Brigada Blindada**. EB70-MC-10.310. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Efeitos dos Obstáculos**. EB70-MT-10.403. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Força Terrestre Componente**. EB70-MC-10.225. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **O Comando de Operações Especiais**. EB70-MC-10.305. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2019.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Guerra Eletrônica nas Operações**. EB70-MC-10.247. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **As Comunicações nas Operações**. EB70-MC-10.246. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Corpo de Exército**. EB70-MC-10.244. Edição experimental. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Divisão de Exército**. EB70-MC-10.243. 3. ed. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Grupo de Artilharia de Campanha**. EB70-MC-10.360. 5. ed. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Operações Interagências**. EB70-MC-10.248. 2. ed. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Processo de Planejamento e Condução das Operações Terrestres**. EB70-MC-10.211. 2. ed. Brasília, DF: COTER, 2020.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Assuntos Cíveis**. EB70-MC-10.251. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Brigada de Aviação do Exército**. EB70-MC-10.373. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Brigada de Infantaria Mecanizada**. EB70-MC-10.367. Edição experimental. Brasília, DF: COTER, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Brigada de Infantaria Paraquedista**. EB70-MC-10.372. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Inteligência nas Operações**. EB70-MC-10.252. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Operações Psicológicas**. EB70-MC-10.230. 5. ed. Brasília, DF: COTER, 2021.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **A Força Terrestre na Defesa do Litoral**. EB70-MC-10.253. Edição experimental. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Batalhão Logístico**. EB70-MC-10.317. 2. ed. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Exploração em Radiotelegrafia e Telegrafia**. EB70-MT-10.409. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. Portaria – COTER/C Ex nº 184, de 31 de maio de 2022. Aprova a Nota Doutrinária Nr 01/2022 Tarefa de Busca e Resgate e Tarefa de Busca, Combate e Salvamento e dá outras providências. **Boletim do Exército nº 25/2022**. Brasília, DF, 24 jun. 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Logística Militar Terrestre**. EB70-MC-10.238. 2. ed. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Operações contra Forças Irregulares**. EB70-MC-10.254. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2022.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Brigadas de Infantaria**. EB70-MC-10.334. 1. ed. Brasília, DF: COTER, 2023.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Interdição e Barreiras**. C 31-5. 1. ed. Brasília, DF: EME, 1991.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Glossário de Termos e Expressões para Uso no Exército**. EB20-MF-03.109.5. ed. Brasília, DF: EME, 2018.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Operações de Transposição de Cursos de Água**. C 31-60. 2. ed. Brasília, DF: EME, 1996.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Batalhão de Infantaria de Selva**. IP 72-20. 1. ed. Brasília, DF: EME, 1997.

BRASIL Exército. Estado-Maior do Exército. **Operações na Selva**. IP 72-1. 1. ed. Brasília, DF: EME, 1997.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **As Comunicações na Brigada**. C 11-30. 2. ed. Brasília, DF: EME, 1998.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Operações Contra Desembarque Anfíbio**. IP 31-10. 2. ed. Brasília, DF: EME, 1998.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Batalhões de Infantaria**. C 7-20. 3. ed. Brasília, DF: EME, 2003.

BRASIL. Exército. Comando de Operações Terrestres. **Ação Cívico-Social (ACISO)**. CI 45-01. 1. ed. Brasília, DF: EME, 2009.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Operações de Dissimulação**. EB20-MC-10.215. 1. ed. Brasília, DF: EME, 2014.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Operações de Informações**. EB20-MC-10.213. 1. ed. Brasília, DF: EME, 2014.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Comando e Controle**. EB20-MC-10.205. 1. ed. Brasília, DF: EME, 2015.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Fogos**. EB20-MC-10.206. 1. ed. Brasília, DF: EME, 2015.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Inteligência Militar Terrestre**. EB20-MF-10.107. 2. ed. Brasília, DF: EME, 2015.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Comunicação Social**. EB20-MF-03.103. 2. ed. Brasília, DF: EME, 2017.

BRASIL. Exército. Estado-Maior do Exército. **Doutrina Militar Terrestre**. EB20- MF-10.102. 3. ed. Brasília, DF: EME, 2022.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Apoio de Fogo em Operações Conjuntas**. MD33-M-11. 1. ed. Brasília, DF: MD, 2013.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Glossário das Forças Armadas**. MD35-G-01. 5. ed. Brasília, DF: MD, 2015.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Doutrina de Operações Conjuntas**. MD30-M-01. 2. ed. Brasília, DF: MD, 2020.
v. 1 e 2.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Manual de**

Operações Anfíbias. MD33-M-14. 1. ed. Brasília, DF: MD, 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Manual de Operações de Evacuação de Não Combatentes.** MD33-M-08. 3. ed. Brasília, DF: MD, 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Comando de Operações Terrestres. **Operação de Transposição de Obstáculos Artificiais.** EB70-MC-10.349. 1. ed. Brasília, DF: MD, 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. **Manual de Operações Ribeirinhas.** MD33-M-15. 1. ed. Brasília, DF: MD, 2020.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 11.007, de 24 de março de 2022. Altera a denominação da 18ª Brigada de Infantaria de Fronteira para 18ª Brigada de Infantaria de Pantanal. **Boletim do Exército nº 13/2022.** Brasília, DF, 1º abr. 2022.

CRUZ, Eduardo Cesar Alves; ANICETO, Larry Aparecido. **Instalações Elétricas:** fundamentos, prática e projetos em instalações residenciais e comerciais. 3. ed. São Paulo: Érica, 2019. 625 p.

FRENZEL JUNIOR, Louis E. **Fundamentos de Comunicação Eletrônica:** modulação, demodulação e recepção. 3. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013a. 348 p.

FRENZEL JUNIOR, Louis E. **Fundamentos de Comunicação Eletrônica:** linhas, micro-ondas e antenas. 3. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013b. 241 p.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Sistemas de Comunicação.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 512 p.

MEDEIROS, Julio Cesar de O. **Princípios de Telecomunicações.** 5. ed. São Paulo: Érica, 2016. 320 p.

MEHL, Ewaldo Luiz de Mattos. Rádio-Propagação. **Eletrica.UFPR**, 2022. Disponível em: <https://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te271/4-Radiopropagacao.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2022.

MOREIRA, Adriano J. C. **Técnicas de Modulação.** 1999. Disponível em: <http://www3.dsi.uminho.pt/adriano/Teaching/Comum/TecModul.html>. Acesso em: 15 maio. 2022.

O FUNCIONAMENTO de uma Antena. **Eletricidade**, 2012. Disponível em: <https://eletercidade.blogspot.com/2012/11/o-funcionamento-de-uma-antena.html>. Acesso em: 15 maio. 2022.

WOLFF, Christian. Noções básicas de radar. **Radar Tutorial**, 2023. Disponível em: <https://www.radartutorial.eu/07.waves/wa04.pt.html>. Acesso em: 04 jul. 2023.

MT 3.11-550

COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES

Brasília, DF, 13 de fevereiro de 2026

<https://portaldopreparo.eb.mil.br>

